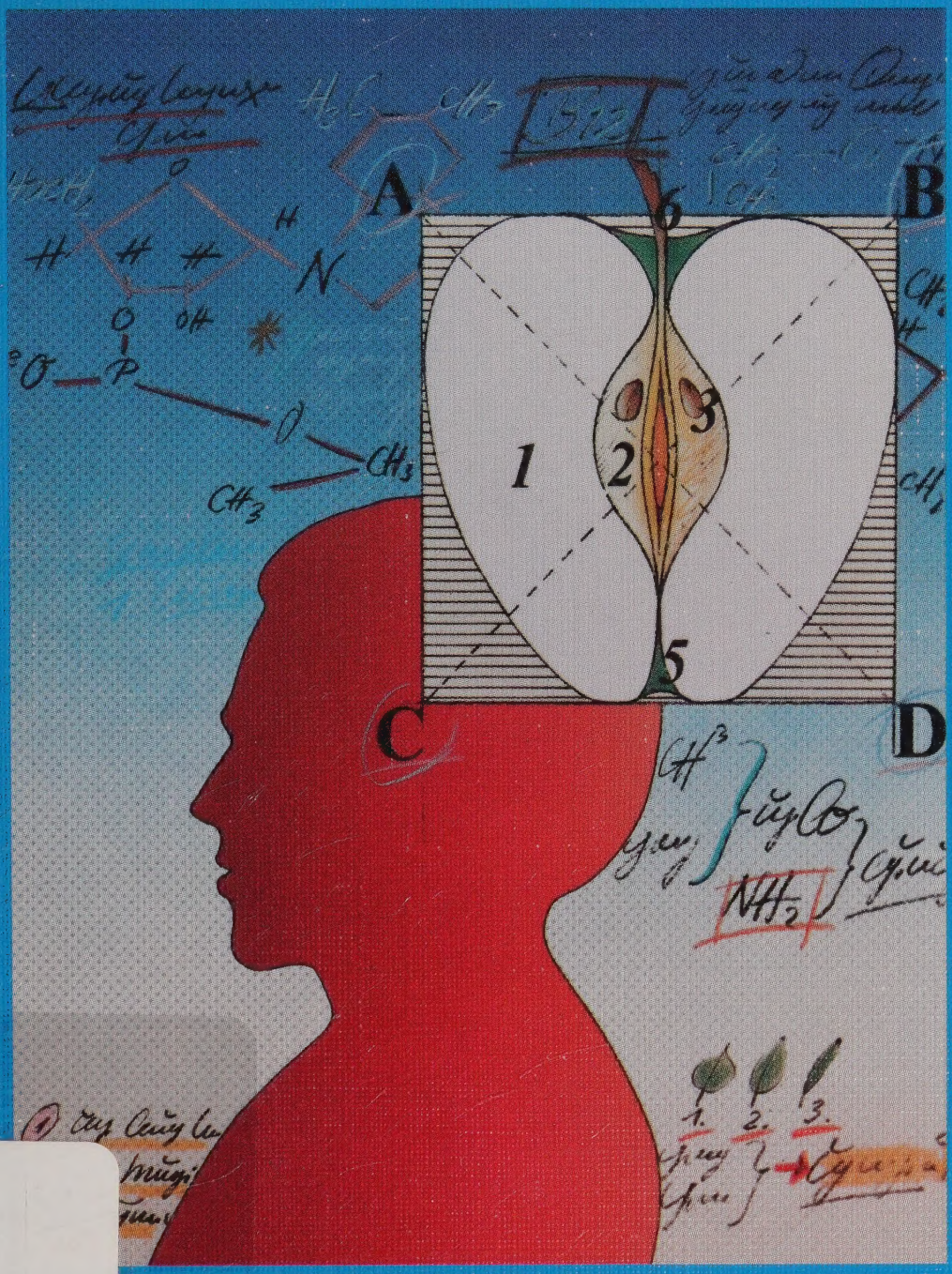
AGF1/90-11

Biotechnologie 2000

Programm der Bundesregierung



M
11308

Der Bundesminister für Forschung und Technologie

Biotechnologie 2000

Der Bundesminister für Forschung und Technologie

Biotechnologie 2000

Programm der Bundesregierung

Der Bundesminister für Forschung und Technologie

WELLCOME
LIBRARY
General Collection
M
11308

Herausgeber:
Der Bundesminister für Forschung und Technologie
– Öffentlichkeitsarbeit –
Bonn, September 1990

Abbildungen:
Fa. Thomae (1), Hoechst AG (1), Behringwerke AG (1), Institut Max von Laue-Paul Langevin (1), Fa. Planta (1), Friedrich-Miescher-Institut (1), Universität Göttingen (2), Celler Pflanzen- und Gewebelabor GmbH (1), TH Darmstadt (5), Universität Bochum (1), Naturwissenschaftliches und Medizinisches Institut an der Universität Tübingen in Reutlingen (1), Forschungszentrum Jülich (5), Deutsches Krebsforschungszentrum (1), Gesellschaft für Biotechnologische Forschung (3), Auswertungs- und Informationsdienst für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (2), OECD (1), Fonds der Chemischen Industrie (2), Verband der Chemischen Industrie (4), Prognos/Stanford Research Institute/Arthur de Little (1), Technical Insight/Frost & Sullivan (1), Enquete-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ (1), MFT (1), BMFT (29)

Titelbild: Dietrich Ebert, Reutlingen
Druck: Warlich Druck und Verlagsges. mbH, Am Hambuch 5, 5309 Meckenheim
ISBN: 3-88135-224-4

Inhalt gedruckt auf Recyclingpapier

22502824076

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
Vorwort		7
I.	EINFÜHRUNG	9
II.	PROGRAMMRAHMEN	19
1.	Forschungspolitische Zielsetzungen	19
2.	Rolle der Forschungspolitik	24
3.	Rahmenbedingungen	31
4.	Situation der Biotechnologie in Wissenschaft und Wirtschaft	40
5.	Bilanz der bisherigen Biotechnologieförderung und Erfahrungen	49
III.	PROGRAMMSCHWERPUNKTE	62
1.	Methoden- und Verfahrensentwicklung	63
2.	Zellbiologische Forschung, Genstruktur und Genregulation	72
3.	Photosynthetische Stoffproduktion, Biol. Wasserstoffgewinnung	78
4.	Synthetische Biologie, Proteindesign	81
5.	Neurobiologische Forschung	85
6.	Biologische Systeme	88
7.	Pflanzenzüchtung, Phytomedizin und Pflanzenschutz	90
8.	Nachwachsende Rohstoffe	93
9.	Biologie von Entsorgungsverfahren	100
10.	Ersatzmethoden zum Tierversuch	104
11.	Biologische Sicherheitsforschung	106
12.	Technologiefolgenabschätzung, Ethische Fragestellungen	108
IV.	DURCHFÜHRUNG DES PROGRAMMS	111
1.	Institutionelle Förderung der Biotechnologie	112
	– Gesellschaft für Biotechnologische Forschung mbH	112
	– Stiftung Deutsches Krebsforschungszentrum (DKFZ)	118
	– weitere institutionelle Förderung in der Biologie/Biotechnologie	123
	– Bundesforschungsanstalten	125
2.	Förderung von Schwerpunktprojekten und Verbundforschung im Rahmen der BMFT-Projektförderung	127
	– Schwerpunktprojekte	127
	– Verbundforschung	130

3. Indirekte Fördermaßnahmen 130
– Forschungsstipendien, Spitzen- und Nachwuchsförderung 130
– Indirekt-spezifische Förderung der biotechnischen Industrie 131
– Technologietransferzentren 132

4. Erhaltung und Nutzung von biologischem Material und Informationsbereitstellung 132
– Erhaltung und Nutzung tier- und pflanzengenetischer Ressourcen 132
– Deutsche Sammlung von Mikroorganismen GmbH 133
– Andere Mikroorganismensammlungen 134
– Datenbanken für Protein- und Gensequenzen 135
– Informationsdatenbanken 136

5. Innerdeutsche Zusammenarbeit 137
– wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit 137
– Forschungsprogramm Biotechnologie, Forschungslandschaft in der DDR 138

6. Internationale Zusammenarbeit 140
– Europäische Zusammenarbeit (EG, EMBL, EUREKA) 141
– Zusammenarbeit mit Osteuropa 147
– Zusammenarbeit mit Industrieländern (HFSP u.a.) 149
– Zusammenarbeit mit Entwicklungsländern 149

V. FINANZRAHMEN 151

VI. ANHANG 152
A.1 Glossar 152
A.2 Bekanntgabe von Förderschwerpunkten und Förderkonzepten 162
A.3 Hinweise für Antragsteller 163
A.4 Übersichten zur Forschungsförderung in der Biotechnologie 165
A.5 Biowissenschaftliche Forschungeinrichtungen in der DDR 185
A.6 Anschriften 186
A.7 Abkürzungsverzeichnis 198

Vorwort

Die Jahrhunderte alte Sehnsucht des Menschen nach der Erkenntnis, was "die Welt im Innersten zusammenhält", hat zu den großen wissenschaftlichen Entdeckungen in Physik und Chemie geführt. Die Faszination, die von Lebensprozessen ausgeht, läßt auch das "Leben", vom Mikroorganismus bis zum Menschen, zum Gegenstand der Forschung werden. Dabei stellt die Aufklärung der Erbinformationen, der Baupläne des Lebens und ihrer Funktion im lebenden Organismus die umwälzendste Entdekkung der Biologen dar. Der "genetische Code" ist für alle Lebewesen, ob Mensch, Tier, Pflanze oder Mikroorganismen, universell. Das in den letzten Jahrzehnten zunehmend tiefere Eindringen in die biologischen Zusammenhänge bildet zusammen mit der Entwicklung neuer, zuverlässiger Methoden zur gezielten Kombinationen von Erbinformationen die Ausgangsbasis für vollkommen neue Anwendungsbereiche, die das Arbeitsgebiet der Biotechnologie ausmachen.

Die Biotechnologie bietet längerfristig sehr große Chancen für eine energiesparende und ökologisch orientierte Gesellschaft von morgen. Biologische Untersuchungsmethoden helfen, Probleme in der Medizin, Umwelt und Landwirtschaft mit neuen biologischen Ansätzen planvoll aufzugreifen. Diese Ansätze werden auch zu einem tieferen naturwissenschaftlichen Verständnis von Leben, Umwelt und Natur führen. Die daraus erwachsenden Kenntnisse werden eine breite Grundlage bilden, die natürlichen Ressourcen langfristig zu erhalten, sie zu schonen und einer wachsenden Bevölkerung ein Auskommen zu sichern.

Lebende Organismen unterliegen ständig von selbst einer Evolution, d. h. einem permanenten Wandel der Erscheinungsformen in einem wechselseitigen Wirkungsgefüge mit der Umwelt. Damit werden chemische und physikalische Vorgänge in eine neue, biologische Dimension geführt, in der sich Informationen ändern, aus denen neue Formen von Leben und neue Produkte aus Organismen entstehen. Eingriffe des Menschen in diese Vorgänge bedeuten deshalb gleichzeitig eine Beeinflussung dieses komplexen Systems und müssen deshalb sorgfältig überlegt werden. Dank Biochemie und Biotechnologie sind auch wir in eine neue Dimension gerückt, die noch vor wenigen Jahrzehnten unvorstellbar war: Lebensvorgänge werden heute immer besser verstanden, die Ergebnisse können gezielter, mit größerer Sicherheit genutzt werden und ihre Anwendung hat sich wesentlich erweitert.

Aus dem Zusammenspiel von Physik, Chemie und Biologie ergeben sich zudem neue technologische Perspektiven zur Gestaltung unseres Lebens. Biologische Sensoren, die mit Hilfe biochemischer Reaktionen Stoffe nachweisen, sind ein Beispiel hierfür. Die Wahrnehmung von Reizen, ihre Übertragung und kognitive Verarbeitung geschieht im Organismus in einem aufeinander abgestimmten Wechselspiel physikalischer, chemischer und biologischer Teilvorgänge. Insofern sind Biosensoren den natürlichen Wahrnehmungsprozessen näher als alle bisherigen Meß- und Nachweis-

verfahren. Ihr technischer Einsatz bei der Abwasserüberwachung oder in der Lebensmitteltechnik erweisen dem Menschen nützliche Dienste.

Die Ambivalenz der technischen Nutzung wissenschaftlicher Forschungsergebnisse verlangt auch hier, daß über spezielle Anwendungen des biologischen und biotechnologischen Wissens ein gesellschaftlicher Konsens hergestellt wird. Das zu beurteilen und zu erreichen ist ein fortwährender Prozeß, in den politische, rechtliche, sozial- und geisteswissenschaftliche Untersuchungen einfließen müssen. Ethische Fragen stellen sich vornehmlich im Zusammenhang mit den Anwendungen neuer biologischer Methodik am Menschen.

Zusammenfassend betrachet liefert die Biotechnologie wirksame Methoden und Verfahren und damit Beiträge für technische Voraussetzungen, fossile Rohstoffe zu sparen, dem weiteren Anstieg von Kohlendioxid in der Atmosphäre zu begegnen sowie Engpässe bei der Erkennung und Heilung von Krankheiten, bei der Sicherung der Ernährung und bei der Lösung von Umweltproblemen abzubauen. Auf allen diesen Gebieten besteht unverändert ein hoher politischer Handlungsbedarf, dem u. a. auch mit diesem Biotechnologie-Programm begegnet werden soll. Diesen Weg wollen wir gehen, in Kürze zusammen mit der Wissenschaft und der Wirtschaft im Gebiet der DDR, mit der schon zahlreiche Kooperationsverbindungen bestehen, und eingebettet in die europäische, teilweise auch weltweite Zusammenarbeit.

Dr. Heinz Riesenhuber
Bundesminister für Forschung und Technologie

I. EINFÜHRUNG

Ausgangslage

Die Biologie ist neben Physik und Chemie zur dritten Grundlagenwissenschaft für die technologische Entwicklung der modernen Industriegesellschaft geworden. In vielen Ländern sind staatliche Forschungs- und Entwicklungsprogramme für ihre technische Anwendung, die Biotechnologie, entstanden. Die Führungsrolle nehmen die USA ein, dicht gefolgt von Japan. Innerhalb der Europäischen Gemeinschaft (EG) ist die Bundesrepublik Deutschland gemeinsam mit Großbritannien und Frankreich führend; die Kommission der Europäischen Gemeinschaften und praktisch alle EG-Mitgliedsstaaten fördern die Innovation durch die Biotechnologie.

Die Biotechnologie wird heute neben Elektronik, Entwicklung neuer Materialien, Software-Entwicklung und Technologien für Grenzbereiche weltweit zu den Schlüsselfeldern künftiger technologischer Innovationen gezählt (Abb. 1). Diese Schlüsselfelder stehen darüber hinaus untereinander in komplexer Wechselwirkung und beeinflussen somit auch die Entwicklung der Bereiche der Biotechnologie. Neue Ansätze ergeben sich vor allem durch die Zusammenarbeit bisher teilweise sehr weit voneinander entfernt stehender Disziplinen. Das daraus sich ergebende, insbesondere qualitative Wachstum hochentwickelter Volkswirtschaften wird damit zunehmend unabhängig von klassischen Wachstumsfaktoren, wie Energie- und Rohstoffverbrauch; der Zuwachs ergibt sich vielmehr aus anderen Ressourcen, wie Finanzkraft, Arbeitspotential, Automatisierungsgrad, hoher Ausbildungs- und Wissensstand, Information sowie eine gut entwickelte Forschungs-, Wirtschafts- und Verwaltungsstruktur eines Staates. Die Produkte und Verfahren der Biotechnologie weisen in diese Richtung des spezifischen Ressourcenangebots in der Bundesrepublik Deutschland (Abb. 2) und liefern damit einen wichtigen Beitrag zum Fortbestand hoher Lebensqualität.

Kennzeichnend für biotechnische Prozesse ist die integrierte Anwendung verschiedener natur- und ingenieurwissenschaftlicher Disziplinen, wie Chemie, Biochemie, Molekularbiologie, Mikrobiologie, Zellbiologie, Gentechnik und Verfahrenstechnik (Abb. 3), in Zukunft zunehmend auch die Kommunikations- und Informationswissenschaften. Als biologische Systeme werden Mikroorganismen und Zellkulturen oder Teile davon, Enzymreaktionen und andere biologische Reaktionen bis hin zu vielzelligen Organismen, z. B. Pflanzen und Tiere eingesetzt. Die traditionelle Biotechnologie und die neue, modernste Methoden einschließende Biotechnologie sind beide unterschiedliche Begrenzungen ein und desselben Technologiefeldes:

- Klassische Biotechnologie: industrielle Anwendungen bei der Brot-, Bier-, Wein- und Käseherstellung, die seit Menschengedenken unsere Lebensgrundlagen bilden;

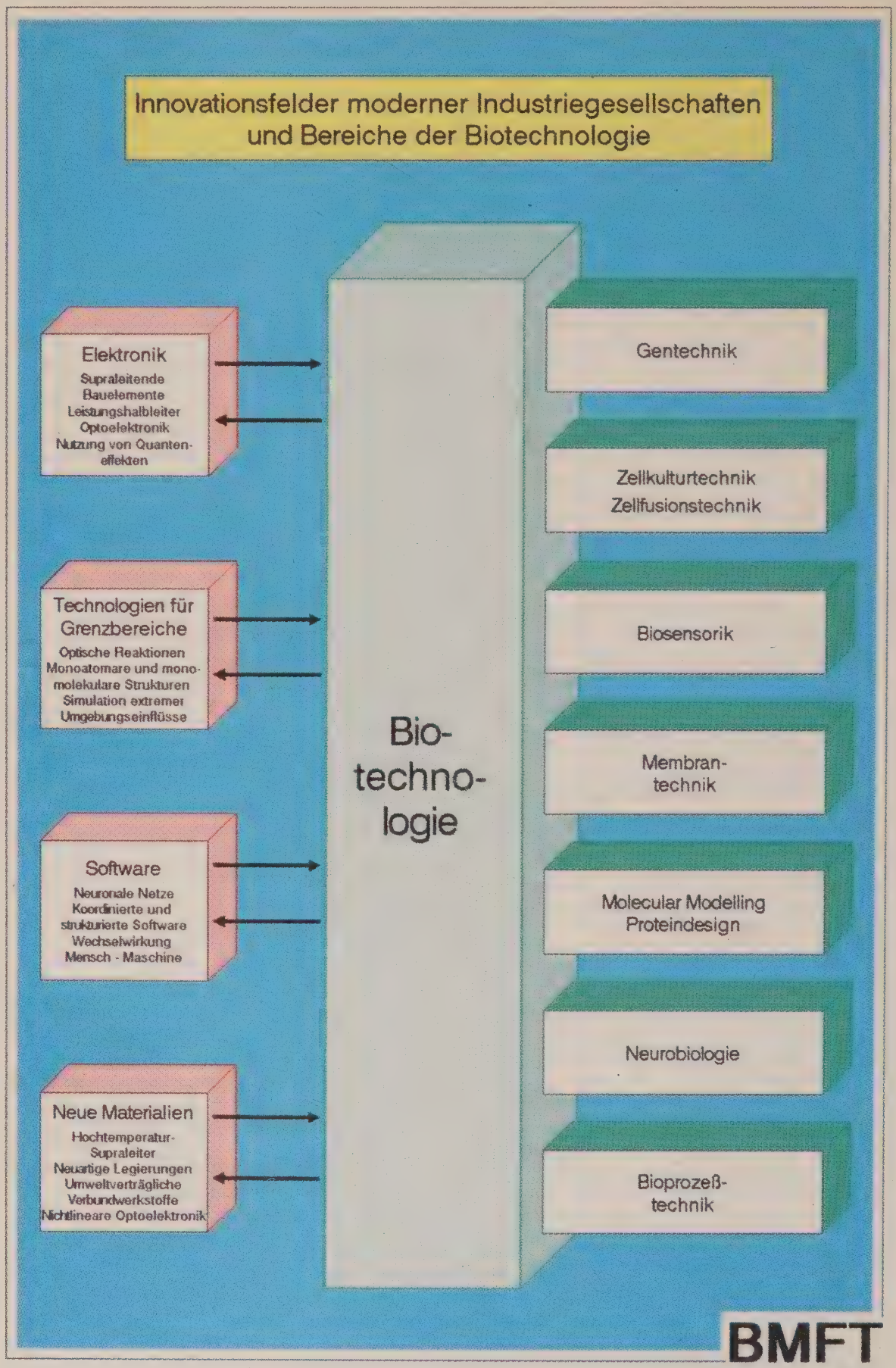

Innovationsfelder moderner Industriegesellschaften
und Bereiche der Biotechnologie
Elektronik
Supraleitende Bauelemente
Leistungshalbleiter
Optoelektronik
Nutzung von Quanteneffekten
Technologien für Grenzbereiche
Optische Reaktionen
Monoatomare und monomolekulare Strukturen
Simulation extremer Umgebungseinflüsse
Software
Neuronale Netze
Koordinierte und strukturierte Software
Wechselwirkung Mensch - Maschine
Neue Materialien
Hochtemperatur-Supraleiter
Neuartige Legierungen
Umweltverträgliche Verbundwerkstoffe
Nichtlineare Optoelektronik
Bio-technologie
Gentechnik
Zellkulturtechnik
Zellfusionstechnik
Biosensorik
Membran-technik
Molecular Modelling
Proteindesign
Neurobiologie
Bioprozeß-technik
BMFT
Biotechnologie 2000

Abb. 1

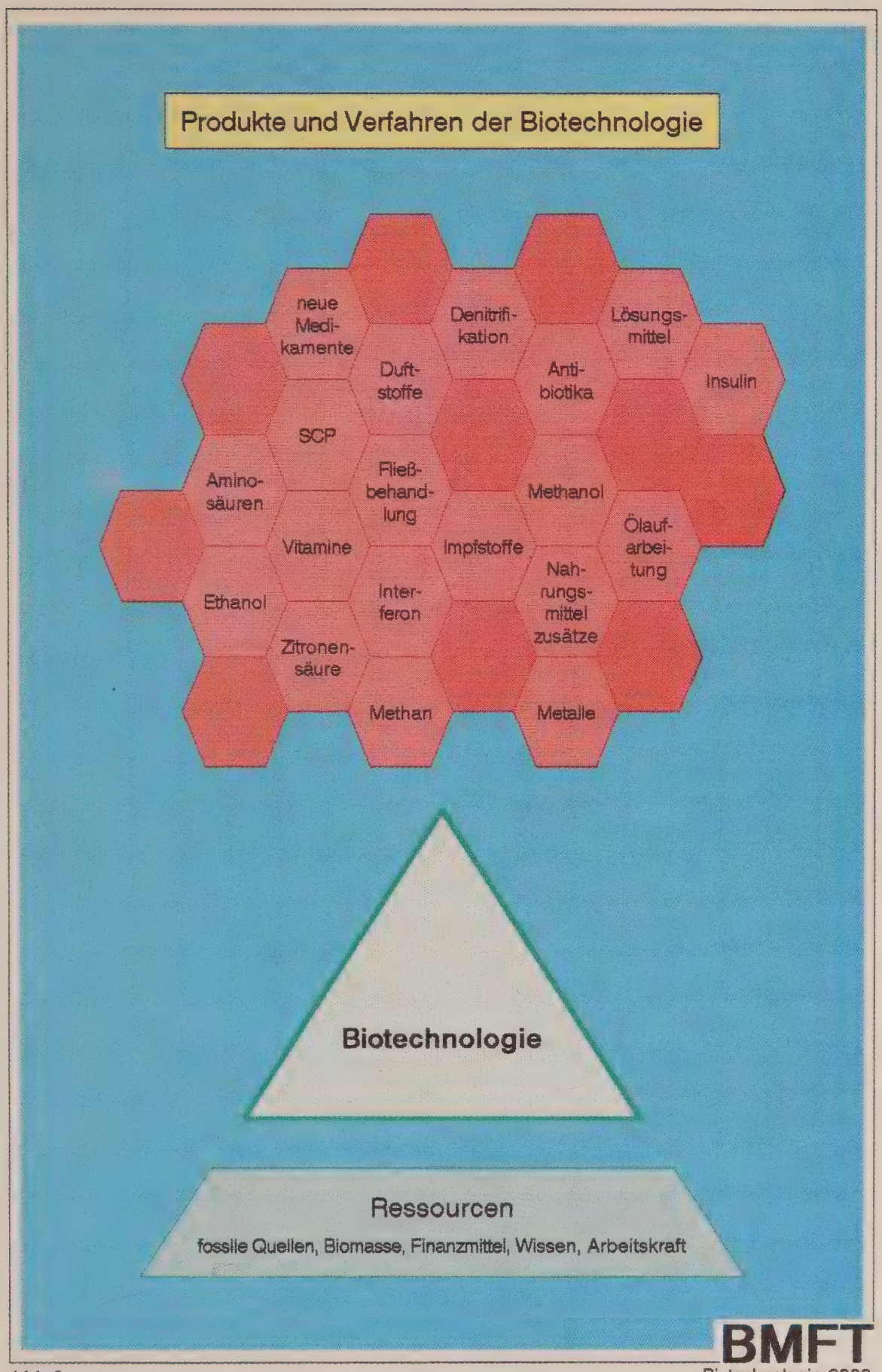

Produkte und Verfahren der Biotechnologie
neue Medi-kamente
Denitrifi-kation
Lösungs-mittel
Duft-stoffe
Anti-biotika
Insulin
SCP
Amino-säuren
Fließ-behand-lung
Methanol
Ölauf-arbei-tung
Vitamine
Impfstoffe
Nah-rungs-mittel zusätze
Ethanol
Inter-feron
Zitronen-säure
Methan
Metalle
Biotechnologie
Ressourcen
fossile Quellen, Biomasse, Finanzmittel, Wissen, Arbeitskraft
BMFT
Biotechnologie 2000

Abb.2

- Moderne Biotechnologie: verbesserte, den jeweiligen wissenschaftlichen und technischen Fortschritten angepaßte Produktionstechniken als Fortentwicklung der klassischen Biotechnologie (z. B. die heutige Penicillin-Produktion);

- Neue Biotechnologie: Anwendung von Gentechnik, Hybridomatechnik (Produktion monoklonaler Antikörper) und Informationstechnik (Biosensoren, Expertensysteme) eröffnen neue Potentiale bei der Diagnose und Heilung von Krankheiten, bei der Sicherung der Ernährung und bei der Lösung von Umweltproblemen.

Die Bundesregierung fördert die Forschung und industrielle Innovation auf dem Gebiet Biotechnologie schon seit Beginn der siebziger Jahre. Aber erst seit Anfang der achtziger Jahre entwickelte sich die Biotechnologie zu einem finanziell stark wachsenden Förderschwerpunkt. Im Jahre 1985 hat die Bundesregierung das erste Forschungsförderprogramm "Angewandte Biologie und Biotechnologie" beschlossen, auf dessen Basis eine leistungsfähige Forschungs-Infrastruktur in der Bundesrepublik herangewachsen ist. Das Programm ergänzt in technologischer Hinsicht entsprechende Schwerpunktsetzungen der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) und der Max-Planck-Gesellschaft (MPG). Die Forschungseinrichtungen arbeiten innerhalb der Europäischen Gemeinschaft, aber auch weltweit zusammen. Die deutschen Wissenschaftler sind anerkannte Partner der internationalen Kooperation in der biologisch/biotechnischen Forschung. Daher ist die Bundesrepublik Deutschland auch zu einem begehrten Ziel für Forschungsaufenthalte ausländischer Wissenschaftler geworden. Über die Ergebnisse der Förderung seit 1985 berichtet der 1989 vorgelegte Programmreport Biotechnologie.

Im Gegensatz zu den Anfangsphasen der auf Physik und Chemie basierenden Industrialisierungsprozesse wird die Anfangsphase der Biotechnologie weltweit durch finanzstarke forschungspolitische Programme der jeweiligen Regierungen getragen. In den USA gab das Krebsbekämpfungs-Programm die entscheidenden ersten Anstöße auf den neuen Gebieten Molekularbiologie und Immunbiologie. In Japan haben sich durch das Zusammenwirken bei staatlichem und industriellem Handeln auf dem Wirtschaftssektor konventionelle Industriezweige (z. B. Brauereien) mit Förderung durch das MITI (Ministry of International Trade and Industry) zur modernen Biotechnologie hin entwickelt.

In Deutschland hat die kontinuierliche, freie Entwicklung der Biologie durch äußere Einflüsse mehrmals schwerwiegende Rückschläge hinnehmen müssen. Ursache war eine die Wissenschaft, darunter auch die Biologie, in ihrer Existenz bedrohende Politik in der Zeit des Nationalsozialismus, verbunden mit der Vertreibung und Verfolgung jüdischer Wissenschaftler und Studenten und die Unterdrückung Andersdenkender. Hiervon hat sich die Biologie auch in der Zeit nach dem II. Weltkrieg nicht wieder erholt, sondern es setzte ein nochmaliger Exodus, nun der Nachwuchswissenschaftler, vor allem in die USA wegen der dort besseren Arbeitsbedingungen ein. Anfang der 70er Jahre wurde in der Bundesrepublik als Folge dieser Entwicklung ein dramatischer Personalmangel während des Aufbaus der

biologischen Wissenschaften im Rahmen der Expansion der deutschen Hochschullandschaft sichtbar. Gerade in diesen Zeiten sind weltweit, vor allem aber in den USA, entscheidende Durchbrüche in der Biologie und in der Biotechnologie gelun-

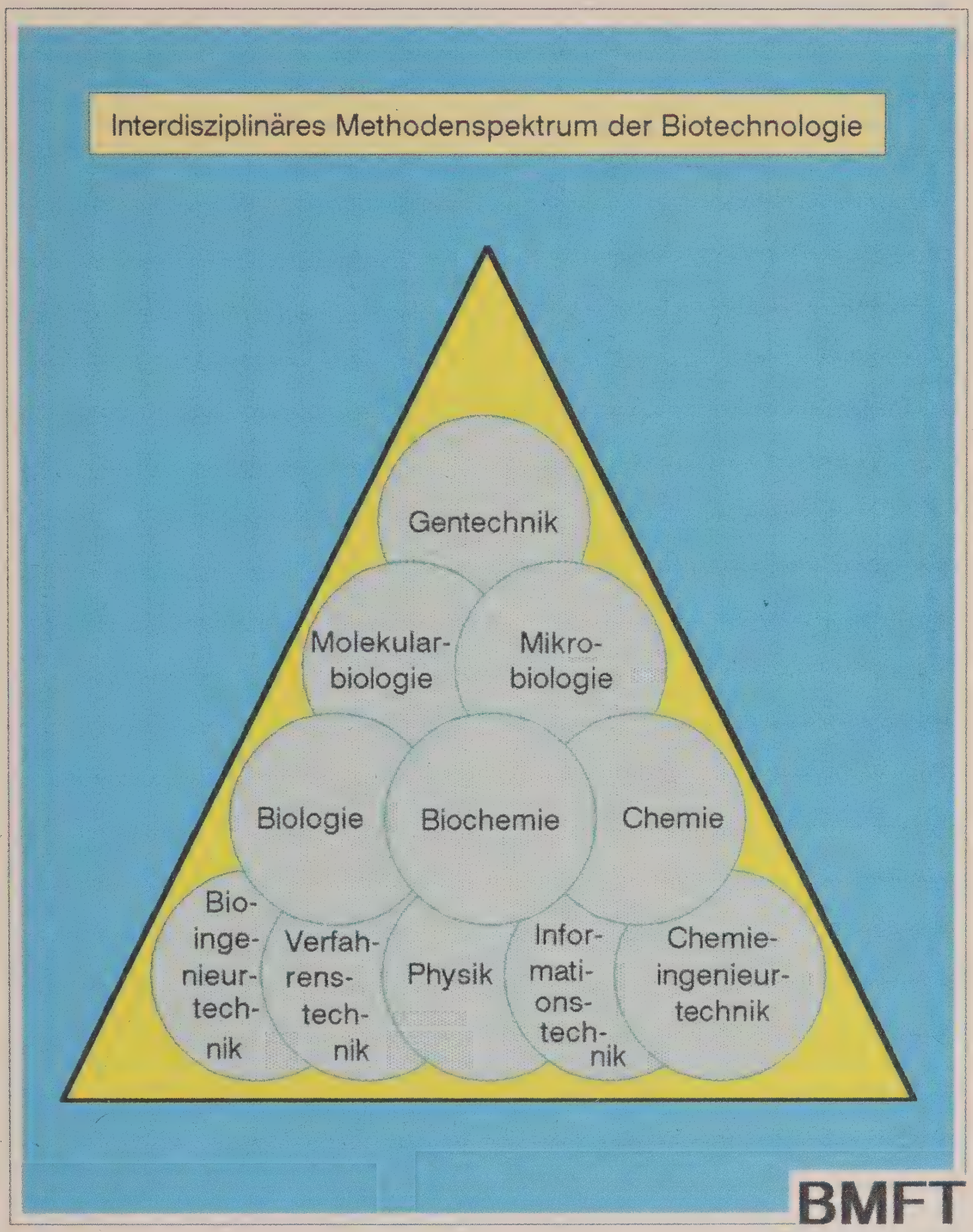


Abb. 3

gen: Ende der dreißiger und in den vierziger Jahren war es die Entwicklung der Penicillin- und der Aminosäureproduktion als erste großtechnische biologische Produktionsverfahren (Abb. 4); parallel hierzu wurden im Ausland die biologischen Grundlagen des Lebens und der Vererbung entdeckt, die zur Basis der modernen biologischen und biotechnischen Forschung wurden (Abb. 5). Anfang der siebziger Jahre war es die Entdeckung der Restriktionsenzyme, die grundlegend für die Gentechnik wurde.

Von diesen wissenschaftlichen und technischen Entwicklungen waren deutsche Forscher und Unternehmen weitgehend abgekoppelt. Dadurch entstanden für die Bundesrepublik Deutschland ein mehrere Jahrzehnte betragender Rückstand in der biologischen Grundlagenforschung und eine ebenso große Lücke bei neuen biotechnologischen Verfahren. Dieser ist trotz einiger herausragender Ergebnisse in den vergangenen Jahren erst in Teilen aufgeholt und erfordert weiterhin große Anstrengungen von seiten der Wissenschaft, der Wirtschaft und des Staates, um mit der ungehinderten Entwicklung anderer Industriestaaten auf diesem Hochtechnologiegebiet Schritt halten zu können. Durch die Förderung der wissenschaftlichen Grundlagenforschung sowie der Erforschung technologischer Anwendungsmöglichkeiten wird der richtige forschungspolitische Rahmen gesetzt. Mit dem neuen Programm soll die 1982 begonnene Entwicklung verstetigt werden.

In vielen Fällen führen Forschungsergebnisse in der Biotechnologie sehr schnell und direkt zu wirtschaftlich verwertbaren Anwendungen. Das gilt nicht nur für praxisnahe Untersuchungen, selbst Arbeiten in der Grundlagenforschung haben häufig gleichzeitig technische Anwendungen zur Folge, so daß neue Erkenntnisse unmittelbar zu Patentanmeldungen führen. Wegen dieser kurzen Wege von der wissenschaftlichen Erkenntnis zur Basisinnovation ist in der Biotechnologie ein Wettlauf um wissenschaftliche Ergebnisse und Unternehmensgründungen, am stärksten ausgeprägt in den USA, zu beobachten. Dennoch können von der Biotechnologie nicht von vornherein kurzfristige Lösungen erwartet werden.

Die Umsetzung biotechnologischer Erkenntisse in die Praxis erfordert oft auch neue Strukturen. Produktivitätsfortschritte können dabei den weltweiten Strukturwandel noch verschärfen. Dieser hat in einigen Ländern, z. B. in USA und Japan, längst begonnen. Ein Stillstand, hervorgerufen beispielsweise durch grundsätzliche Akzeptanzdiskussionen über die Gentechnik, bedeutet daher ein gefährliches Abkoppeln von der weltweiten Technologieentwicklung. Dabei wird oft übersehen, daß die meisten Vorbehalte nicht so sehr grundsätzlicher Natur sind, sondern vielmehr der Sorge entspringen, wie die neuen Technologien für die Gesellschaft zu nutzen sind.

Innerhalb der Europäischen Gemeinschaft wird die Akzeptanzdiskussion vor allem in der Bundesrepublik Deutschland vehement geführt. Einzelne Firmen haben dies bereits zum Anlaß genommen, ihre Forschungs- und Produktionsinvestitionen ins europäische oder auch außereuropäische Ausland zu lenken. Die Akzeptanz wurde in der Vergangenheit insbesondere durch unvollständige Regelungen über die im öffentlichen Interesse liegenden Maßnahmen bei der Anwendung der Gentechnik erschwert.

Mit Inkrafttreten des neuen Gentechnik-Gesetzes am 01.07.1990 und seinen Verwaltungsvorschriften ist der rechtliche Rahmen zum sicheren Umgang mit der neuen Technik und zum Schutz der Bürger gesetzt.

Entwicklung der Biotechnologie

Zeittafel	Verfahren	Beispiele für Verfahren	Beispiele für Produkte
Prä-Pasteur-Ära (vor 1865)	Traditionelle Nutzung der Biotechnologie bei der Herstellung von Nahrungsmitteln	Alkoholische Gärung Milchsäuregärung Essigsäuregärung	Wein, Bier Käse, Sauerteig, Joghurt Essig
Pasteur-Ära (1865-1940)	Biotechnische Verfahren ohne absoluten Ausschluß von Fremdkeimen	Fermentation Oberflächenkultur Aerobe Abwasserklärung Biomasse-Herstellung	Butanol, Aceton, Ethanol Zitronensäure Geklärtes Wasser Bäckerhefe, Futterhefe
Antibiotika-Ära (1940-1960)	Biotechnische Verfahren unter Ausschluß von Fremdkeimen und mit selektionierten Stämmen = Produktionsstämme	Steril-Technik Submers-Verfahren Tierische Zellkulturen Mikrobielle Stoffumwandlungen	Penicillin u.a. Antibiotika Aminosäuren Virus-Impfstoffe Cortison, Vitamin B 12 Ovulationshemmer
Post-Antibiotika-Ära (1960-1975)	Integration und Anwendung wichtiger Forschungsergebnisse aus Naturwissenschaften und Technik in der Biotechnologie	Mikrobiologische Herstellung von Biopolymeren Immobilisierung von Enzymen und Zellen Anaerobe Abwasserklärung Alkoholische Gärung	Einzeller-Protein (SCP) Enzyme (Waschmittel) Polysaccharide (Xanthan) Fructose-Sirup (Isomerase) Biogas Industrie-Alkohol (Gasohol)
Neue Biotechnologie (seit 1975)	Konstruktive Optimierung von Zellen und vorhersagbare Bioprozeß-Technologie	Hybridoma-Technik Gentechnik (Genetic Engineering)	Monoklonale Antikörper Rekombinante Impfstoffe Therapeutische Humanproteine

BMFT
Biotechnologie 2000

Abb. 4

In einer Langfristperspektive sind "Information" und "System" tragende Elemente der weiteren Entwicklung von Biologie und Biotechnologie. So bildet die genetische Information die Grundlage für die Baupläne des Individuums. Die Fähigkeit zur Infor-

Übersicht zur Entwicklung der Gentechnik

Entdeckung der Desoxyribonucleinsäure (DNA) (Miescher)	1869
Korrelation von DNA und genetischem Material (AVERY)	1944
Doppelhelixstruktur und Replikationsprinzip der DNA (Watson und Crick)	1953
Aufklärung der Grundmechanismen bei der Realisation der genetischen Information: genetischer Code, Boten-RNA, Transfer-RNA	1962/66
Sequenzspezifische Restriktionsendonukleasen	1972
In vitro Neukombination von DNA-Fragmenten und Entwicklung von Plasmidvektoren (Cohen und Boyer)	1972/73
Monoklonale Antikörper (Köhler und Milstein)	1975
Schnelle DNA-Sequenzanalyse (Sanger, Gilbert)	ab 1976
Synthese von Säugerhormonen in *Escherichia coli*	ab 1977
Chemische Synthese eines voll funktionsfähigen Gens (Khorana)	1978
Kommerzielle Verwertung von "bakteriellem" Insulin	ab 1982

BMFT
Biotechnologie 2000

Abb.5

BMFT
Biotechnologie 2000

Abb. 6

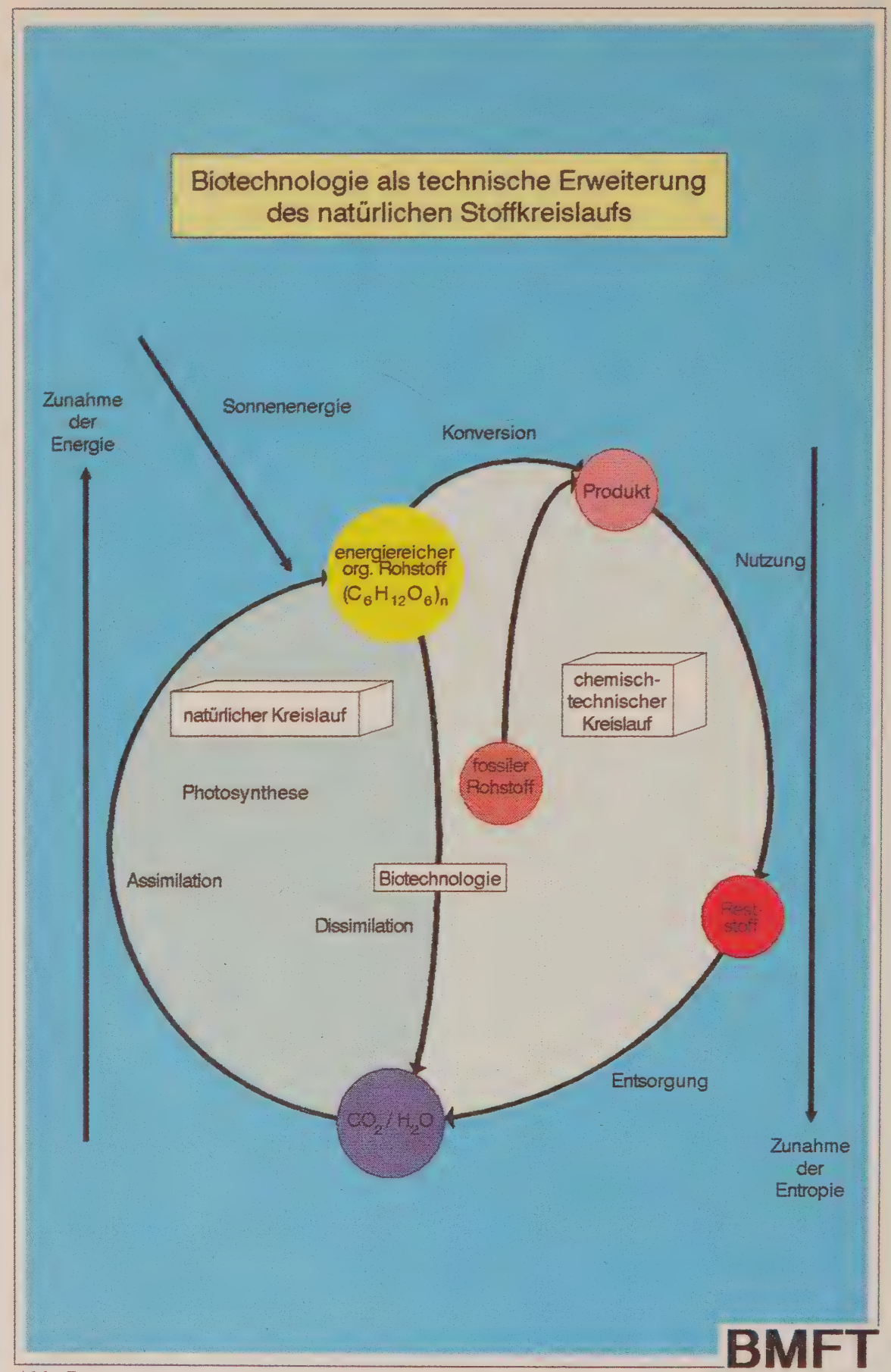

Biotechnologie als technische Erweiterung des natürlichen Stoffkreislaufs
Zunahme der Energie
Sonnenenergie
Konversion
Produkt
energiereicher org. Rohstoff
$(C_6H_{12}O_6)_n$
Nutzung
chemisch-technischer Kreislauf
natürlicher Kreislauf
fossiler Rohstoff
Photosynthese
Assimilation
Biotechnologie
Dissimilation
Rest-stoff
Entsorgung
CO_2 / H_2O
Zunahme der Entropie
BMFT
Biotechnologie 2000

Abb. 7

mation und ihrer Verarbeitung sowie zur Kommunikation zwischen einzelnen Zellbestandteilen und Organen, hat biologische Systeme, wie sie ein Organismus darstellt, überhaupt erst möglich gemacht. Die biologische Wissenschaft versucht, diese komplexen Systeme zu verstehen, Mechanismen aufzuklären und Gesetzmäßigkeiten aufzudecken; in der Biotechnologie werden sie nutzbringend eingesetzt. Sie beeinflußt damit selbst wiederum Systeme, wie den Naturkreislauf und die Umwelt, und treibt Entwicklungen voran in Basiseinrichtungen, Technik oder im Dienstleistungsbereich (Abb. 6).

Die biologische Information ist im Genom der Lebewesen niedergelegt. Das Genom, sein zugehöriges Expressionssystem und Umwelteinflüsse bestimmen den Phänotyp, d. h. die äußere Gestalt, und die Fähigkeiten zum Stoffwechsel eines Organismus, zu seiner Vermehrung und zur Vererbung (Weitergabe der genetischen Information). Gegenüber physikalischen und chemischen Systemen hat das biologische damit eine neue, eigene Dimension, nämlich die zur Vervielfältigung von Informationen.

Biologische Systeme begegnen uns in Gestalt einzelner Organismen mit ihrem komplexen Stoffwechselgeschehen: im Einzeller und Vielzeller bis hin zum höheren Organismus mit spezialisierten Organen und einem Gehirn, das in der Lage ist, sich Hilfsmittel zu schaffen, bis hin zum Menschen, der lernfähig ist, die biologischen Systeme in ihrer Komplexität zu erfassen, eines Tages vollständig beschreiben und vielleicht besser verstehen und nutzen zu können. Dabei ist der Mensch auf seiner sozialen Stufe ebenso in biologische Systeme eingebunden, wie er sich als Teil eines komplexen Systems Umwelt und Natur sieht, mit allen Erscheinungen wie Klima, natürlichen Stoffkreisläufen und Zusammenleben im Ökosystem. Die Verfahren der Biotechnologie stellen eine Erweiterung des natürlichen Stoffkreislaufs dar (Abb. 7). Sie finden ihre Vorbilder sowohl in der Natur, als auch in der chemischen Technik, wobei in der Biotechnologie die biologischen Vorgänge des natürlichen Kreislaufs technisch weiterentwickelt, leistungsfähiger gemacht und angewendet werden.

II. PROGRAMMRAHMEN

1. Forschungspolitische Zielsetzungen

Das Programm Biotechnologie 2000 ist eingefügt in die übergreifenden forschungs- und technologiepolitischen Ziele der Bundesregierung (Abb. 8):

- Sicherung der breit angelegten *Grundlagenforschung* unter gleichzeitiger Förderung der Spitzenforschung;

- Förderung der *Vorsorgeforschung* auf den Gebieten Umwelt, Gesundheit, Ernährung, Energie- und Rohstoffversorgung;

– *Verbesserung der Rahmenbedingungen* für die wirtschaftseigene Forschung und Entwicklung.

Vor dem Hintergrund dieser übergreifenden Zielsetzungen ist das Förderprogramm daneben auf die *Stärkung der Forschungsstrukturen* für die angewandte biologische Grundlagenforschung und Biotechnologie sowie auf den verantwortungsvollen Einsatz biologischer Methoden und Verfahren zur Nutzung natürlicher und gentechnisch übertragener Stoffwechselleistungen ausgerichtet. Darüber hinaus soll es dazu dienen, den Rückstand auf dem Feld neuer, natürlicher Wirkstoffe, für deren technische Gewinnung neue biotechnische Prozesse zu entwickeln wären, zu überwinden. Daneben sollen Anstrengungen der Wirtschaft, den hervorragenden Stand auf dem Gebiet der biotechnischen Instrumentierung zu einem integralen Ansatz für den biotechnischen Apparate- und Anlagenbau zu führen, unterstützt werden. Für die Bereiche Umwelt und Landwirtschaft ist es besonders wichtig, das biotechnische Potential zur natur- und ressourcenschonenden Erzeugung und Umwandlung von Rohstoffen oder Abfallstoffen zu mobilisieren. Das Förderprogramm soll gleichzeitig durch einen verstärkten Dialog aller Beteiligten zu *verantwortbarem* Handeln auf diesem Technologiefeld führen.

Die Biotechnologie zählt zu den Schlüssel- bzw. Querschnittsbereichen der technologischen Entwicklung (Abb. 9). Sie liefert neue Methoden und Verfahren für Zielfelder, wie die ökologische Forschung, die Entwicklung von Umwelttechnologien, von neuen Agrar- und Lebensmitteltechnologien und die Gesundheitsforschung. Durch ihre Wechselwirkung mit anderen Schlüsselbereichen moderner Technologieentwicklung, wie Informations- und Kommunikationstechnologie oder Materialwissenschaften, trägt sie zu einem zeitgemäßen Verständnis der naturwissenschaftlichen Grundlagen des Lebens und zu seiner technisch/sozialen Gestaltung bei.

Auf der ganzen Welt erscheinen neue Biotechnologieprodukte auf dem Markt. Immer bessere und spezifischere Diagnosesysteme, wirksamere und selektiv heilende Medikamente oder Apparate für biologische Testverfahren werden entwickelt. Die auf unserer Erde verschiedenen klimatischen Regionen verlangen immer besser angepaßte Kulturpflanzen, die die Basis für die Welternährung bilden. Der Markt bietet heute bereits ein vielfältiges Angebot von hochwertigen und vor mikrobiellem Verderb geschützten Nahrungsmitteln. Daneben wird eine Vielzahl von Gartenpflanzen, Topf- und Schnittblumen angeboten, deren Menge und Vielfalt ohne die modernen Vermehrungsmethoden der Biotechnologie undenkbar wären.

Grundlagenforschung

Auf den Gebieten der biologischen und biotechnischen Forschung bestand bis Ende der siebziger Jahre aufgrund der historischen Entwicklung ein hohes qualitatives und quantitatives Defizit. Dieses ist bis heute nur in Teilen aufgehoben. Der forschungspolitische Handlungsbedarf liegt daher schwerpunktmäßig bei der Förderung einer breit angelegten Grundlagenforschung, um einerseits den Wissensstand auf diesen für

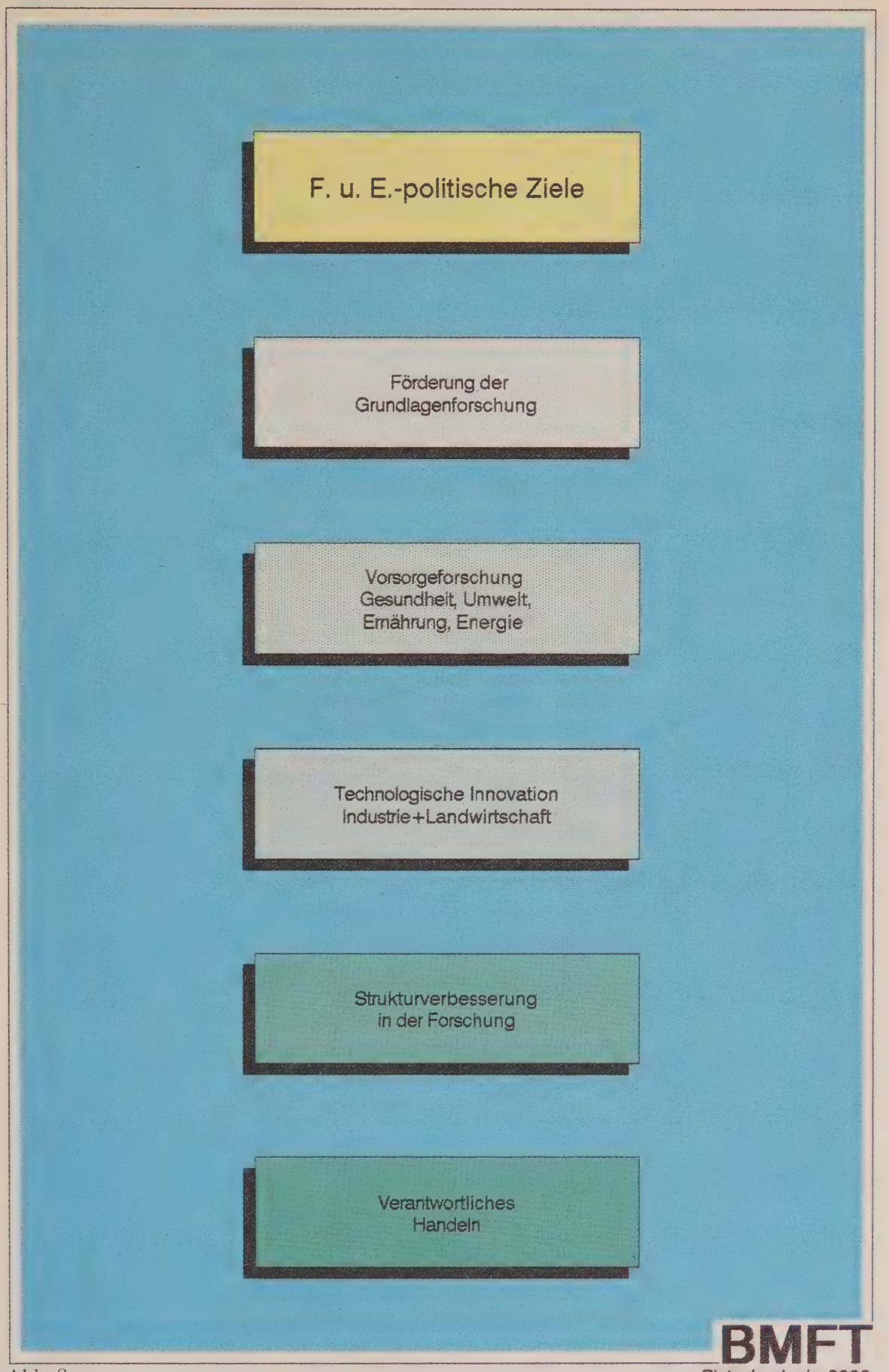

F. u. E.-politische Ziele
Förderung der Grundlagenforschung
Vorsorgeforschung Gesundheit, Umwelt, Ernährung, Energie
Technologische Innovation Industrie+Landwirtschaft
Strukturverbesserung in der Forschung
Verantwortliches Handeln
BMFT
Biotechnologie 2000

Abb. 8

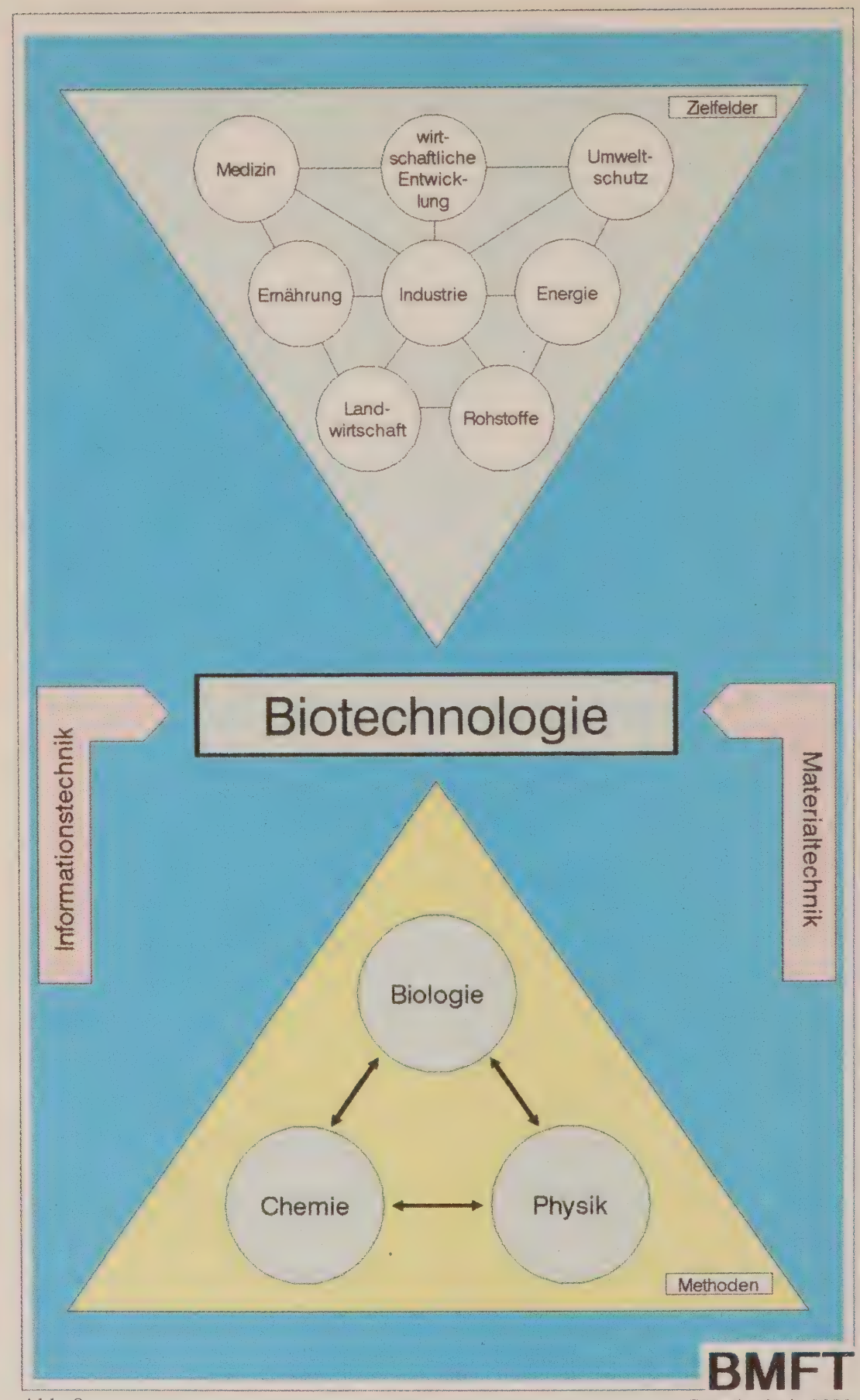

Zielfelder
Medizin
wirt-
schaftliche
Entwick-
lung
Umwelt-
schutz
Ernährung
Industrie
Energie
Land-
wirtschaft
Rohstoffe
Biotechnologie
Informationstechnik
Materialtechnik
Biologie
Chemie
Physik
Methoden
BMFT
Biotechnologie 2000

Abb. 9

technologische Entwicklungen bedeutsamen Gebieten zu erhöhen und andererseits ein Angebot an hochqualifiziertem Personal für die Forschung in Wissenschaft und Wirtschaft hervorzubringen. Die Bundesregierung will mit diesem Förderprogramm entsprechende Schwerpunktsetzungen bei den für die Hochschulpolitik zuständigen Ländern in den Universitäten, bei der selbstverwalteten Wissenschaft der Max-Planck-Gesellschaft (MPG) und der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) flankieren und verstärken. Seit 1980 wurden mit der Gründung der Genzentren in Köln, Heidelberg, München und Berlin die dem Bedarf entsprechenden forschungspolitischen Signale für den Bereich der Grundlagenforschung gesetzt. Die Förderung der Grundlagenforschung hat sich auf weitere Schwerpunktprojekte in der Molekularbiologie, der Neurobiologie, der Biokatalyse und der Bioverfahrens- und Prozeßtechnik ausgedehnt, bei denen ähnliche Defizite wie bei der Gentechnik bestehen. Wesentliche Anteile an Grundlagenforschung werden auch in Großforschungseinrichtungen (bei der GBF rd. 40 % des Betriebsmitteleinsatzes) für die biologische und biotechnische Grundlagenforschung verwendet.

Vorsorgeforschung

Mit biotechnischen Methoden und Verfahren lassen sich eine Reihe von Problemen, deren Lösung im öffentlichen Interesse liegt, im Bereich der Ernährung, der Gesundheit und der Umwelt mit neuen Ansätzen aufgreifen: die mit diesem Förderprogramm zur Biotechnologie geförderten Forschungsfelder liegen dabei im Vorfeld anderer Förderprogramme und setzen ihre Schwerpunkte auf die Weiterentwicklung und Erprobung neuer biologischer und biotechnischer Methoden und Verfahren für den jeweiligen Anwendungssektor. Entwicklungen in der Gentechnik und in der Bioverfahrenstechnik richten sich beispielsweise auf den Abbau von Problemstoffen in der Umwelt (PCB, Dioxin). Untersuchungen in der Zellbiologie und über die Struktur und Funktion der Gene einschließlich der Regulationsvorgänge bilden die biomedizinische Grundlagenforschung als Voraussetzung neuer Produktentwicklungen für die medizinische Versorgung der Bevölkerung und für die Tiergesundheit, wobei die Produktentwicklung selbst dann von der Industrie eigenständig aufgegriffen werden muß. Genetische Analyse und Untersuchungen über die genetischen Grundlagen von Resistenz und Qualität bilden wichtige Voraussetzungen für die Tier- und Pflanzenzucht (höhere Lebensmittelqualität, Pflanzen zur Rohstoffgewinnung).

Verbesserung der Rahmenbedingungen für die Wirtschaft

Eine nachhaltige Förderung der Grundlagenforschung stellt gleichzeitig eine Verbesserung der Voraussetzungen für Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten der Wirtschaft dar. Durch die Defizite in der biologischen und biotechnischen Grundlagenforschung sind entsprechende Aktivitäten in der Wirtschaft ausgeblieben oder nicht in dem Maße entwickelt worden, wie sie im westlichen Ausland zu beobachten sind. Neben der Förderung der auf industrielle Anwendung zielenden Grundlagenforschung werden die Rahmenbedingungen für Innovationen in der Wirtschaft (Landwirtschaft und Industrie) durch die Unterstützung der Erforschung von Anwen-

dungsmöglichkeiten der Grundlagenkenntnisse für die Produktion in der Wirtschaft - von Entwicklungen zur Anwendungsreife bis hin zur Erstinnovation - wesentlich verbessert. Es ist dann aber Aufgabe der Wirtschaft selbst, anwendungsreife, neue Technologien in ihren Produktionsprozessen einzusetzen und Produktentwicklungen in eigener Verantwortung durchzuführen.

Die Absicht, der Bundesrepublik Deutschland innerhalb der Europäischen Gemeinschaft, aber auch im Vergleich zu USA und Japan wieder einen Spitzenplatz in der Biotechnologie zu sichern, setzt eine intensive interdisziplinäre Zusammenarbeit in Forschung und Entwicklung voraus. Die Intensivierung der Wechselbeziehungen im Grundlagenbereich, aber auch zwischen der Grundlagenforschung, Entwicklung und Anwendung sind eine wesentliche Prämisse dieses Forschungsprogramms.

Abb.10

Biotechnologie 2000

Um diese Zielsetzung zu erreichen, verfolgt die Bundesregierung im Programm Biotechnologie zwei Strategien, von einem methodenorientierten und von einem problemorientierten Ansatz aus:

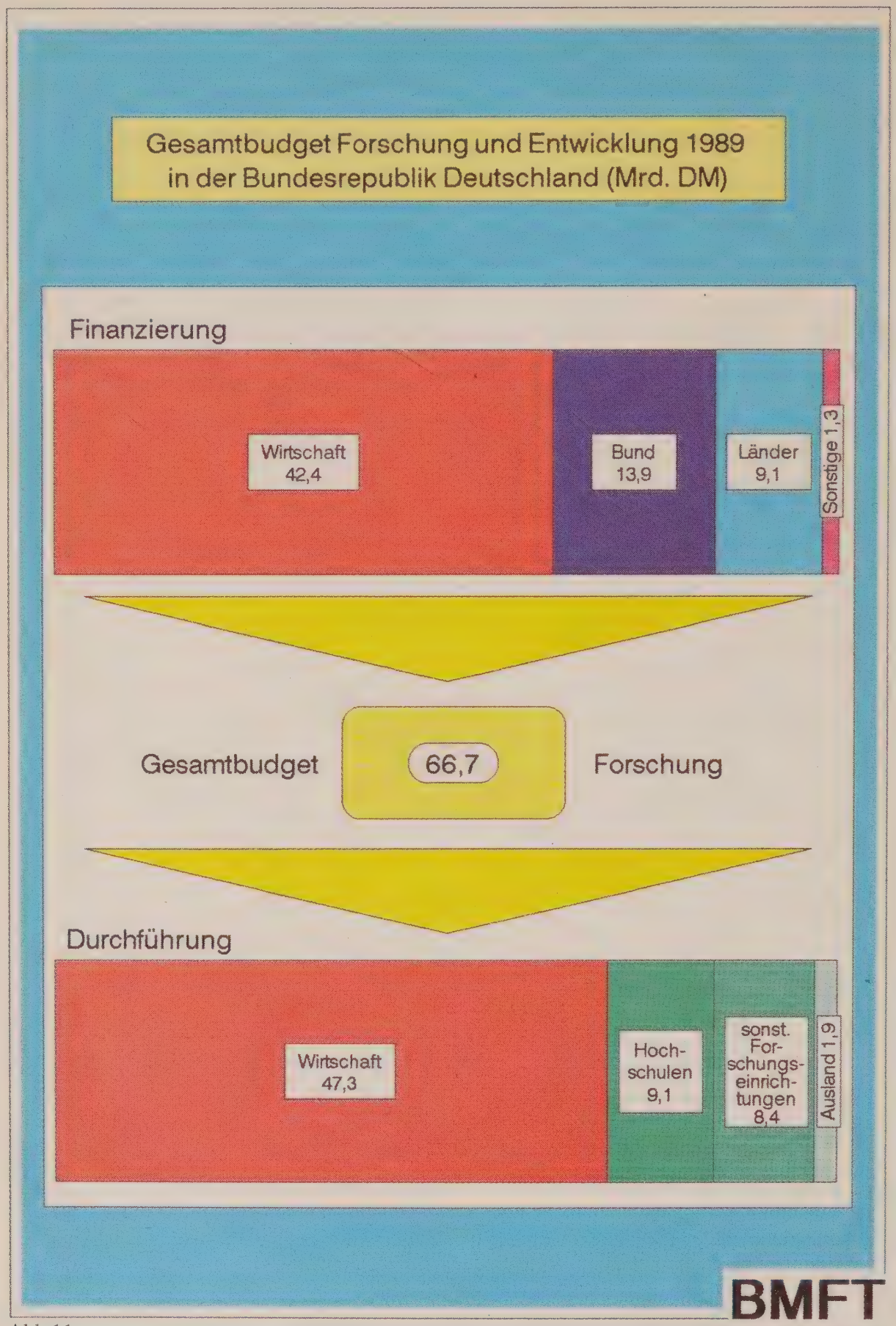
Erstens bedarf es zur Entwicklung der biologisch/biotechnischen Methoden einer Stärkung des wissenschaftlichen und technischen Potentials durch die Unterstützung hochqualifizierter Forschergruppen in den Institutionen der Grundlagen- und angewandten Forschung. In diesem Prozeß werden das für die Technologieentwicklung notwendige Wissen und die Know-how-Träger herangebildet, die beide dann zeit- und bedarfsgerecht als Produktions- und Wertschöpfungsfaktoren zur Verfügung stehen sollen. Der Transfer wissenschaftlicher Grundlagenerkenntnisse in technologische Anwendungen soll konsequent verfolgt werden. Angesichts der technischen, wirtschaftlichen und gesellschaftspolitischen Bedeutung der Biotechnologie in einer Vielzahl von Anwendungsfeldern liegt die vorrangige Aufgabe staatlicher Forschungs- und Technologiepolitik in der Schaffung günstiger Rahmenbedingungen, damit Innovationen auf den Gebieten staatlicher Vorsorgepolitik, Innovationen in der Wirtschaft und der Prozeß der gesellschaftlichen Integration der Biotechnologie ermöglicht und erleichtert werden.

Zweitens umfaßt die Förderung der Biotechnologie die Erarbeitung konkreter biologischer Lösungsmöglichkeiten für verschiedene Anwendungsgebiete (Abb. 10), wie z.B. im Umweltschutz, in der Gesundheitsforschung und in der landwirtschaftlichen Forschung. Dieser zweite Ansatz ist ohne den vorausgehenden ersten nicht realisierbar.

2. Rolle der Forschungspolitik

Mit dem Forschungsprogramm Biotechnologie werden Ziele verfolgt, die über den Aufgabenbereich des Bundes hinausweisen und die von der Europäischen Gemeinschaft, den Ländern oder der privaten Wirtschaft getragen werden. Die Forschungsförderung im Rahmen dieses Programms muß daher verschiedene forschungspolitische Grundsätze beachten, die die spezifischen Aufgabenbereiche des Programms innerhalb der pluralistisch angelegten Forschungs- und Förderlandschaft eingrenzen und die Abstimmung mit anderen selbständig arbeitenden Förderorganisationen erlauben. Hierdurch soll ein möglichst effizienter Einsatz der Fördermittel im Sinne der übergreifenden Zielvorstellungen des Programms erreicht und Konkurrenz zu anderen Förderern und zu anderen Förderprogrammen vermieden werden.

Ein wesentlicher forschungspolitischer Grundsatz wird durch die Betrachtung des Gesamtbudgets Forschung in der Bundesrepublik Deutschland deutlich, das für das Jahr 1989 auf 66,7 Mrd. DM geschätzt wird (Abb. 11): Es ist auf der Finanzierungsseite gekennzeichnet durch einen hohen Anteil der Wirtschaft am Forschungsbudget. Die-



BMFT
Biotechnologie 2000

Abb. 11

ser liegt im Jahre 1989 schätzungsweise bei 42,4 Mrd. DM oder 63,5 % und konnte damit von seiten der Wirtschaft seit 1981 von 55,4 % (bei 22,1 Mrd. DM) weiter ausgebaut werden. Diese im Vergleich zu Bund und Ländern deutlich größere Ausgabendynamik hat zur Folge, daß die Anteile der aus öffentlichen Mitteln finanzierten Forschung und Entwicklung im Zeitverlauf sanken. Auch die Betrachtung des Gesamtbudgets Forschung in der Gliederung nach durchführenden Sektoren macht die dominierende Wirkung der Ausgabendynamik der Wirtschaft deutlich: Ihr Anteil an den gesamten FuE-Ausgaben wird für 1989 auf 47,3 Mrd. DM, d. h. 71 % geschätzt und erhöhte sich damit seit 1981 (66,7 %). Die daraus abzuleitende Eigenfinanzierungsquote der Wirtschaft, d. h. der von der Wirtschaft selbst finanzierte Anteil hat sich damit auf 86,8 % gesteigert. Die Entwicklung zeigt, daß die Wirtschaft damit ihre Forschungsanstrengungen nicht nur in überdurchschnittlichem Maße gesteigert, sondern sie auch zunehmend selbst finanziert hat.

Daraus leitet sich als weiterer Grundsatz ab, daß die Forschungsförderung des Bundes im Bereich Biotechnologie subsidiär angelegt ist, d. h. der Staat wird nur dort initiativ, wo aus forschungs- und technologiepolitischer Sicht wesentliche Forschungslükken erkennbar sind. Eine Förderung durch dieses Programm erfolgt allerdings auch nur dann, wenn die erforderlichen Forschungsvorhaben von keiner anderen Stelle ausreichend gefördert werden. Das Programm setzt sowohl im wissenschaftlichen Bereich als auch im Bereich der Wirtschaft auf die Eigeninitiative zum Erreichen der Zielsetzungen. Das Förderprogramm übernimmt hierbei eine flankierende Funktion. Die subsidiäre Rolle umfaßt im Grundsatz allerdings auch, daß in bestimmten Bereichen, die für die Aufgabenerfüllung des Bundes besonders wichtig sind und in denen Forschungsdefizite bestehen, der Staat gezielt Anreize schafft. Dies geschieht da, wo die Selbstregulierungsmechanismen der Wissenschaft und der Wirtschaft nicht ausreichen, um genügend Forschungskapazitäten in diese Bereiche zu lenken. Hierbei sind in einer marktwirtschaftlichen Ordnung besonders strenge Maßstäbe anzulegen.

Wesentliche Beträge leisten in dieser Hinsicht auch ressortzugehörige Forschungseinrichtungen des Bundes, insbesondere die des Bundesministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BML), die in erster Linie die Aufgabe haben, Entscheidungshilfen für die komplexen Probleme in den entsprechenden Politikbereichen zu erarbeiten. Sie tragen damit gleichzeitig auch zum allgemeinen Erkenntnisfortschritt und zur Bearbeitung technologisch neuartiger Problemlösungen bei. Darüber hinaus nehmen sie gesetzliche Aufgaben im Rahmen der Sicherheitsregelungen zur Biotechnologie auf wissenschaftlich fundierter Basis wahr.

Das Identifizieren von Forschungs- und Förderdefiziten ist für sich bereits eine anspruchsvolle Aufgabe, die nur in engem Dialog mit der Wissenschaft und der forschenden Industrie sowie den mit Genehmigungsfragen befaßten Behörden geleistet werden kann.

Um Forderungen für Veränderungen der fachlichen Aufgabenbereiche innerhalb der übergreifenden forschungs- und technologiepolitischen Zielsetzungen sehr flexibel

nachkommen zu können, werden im Programmteil III, Programmschwerpunkte, ein Rahmen für die Fördermaßnahmen gesetzt und fachliche Inhalte nur beispielhaft nach dem augenblicklichen Erkenntnisstand des forschungspolitischen Dialogs mit den beteiligten Partnern aufgeführt. Zu der überwiegenden Zahl der Programmschwerpunkte werden zusätzlich ausführliche Förderkonzepte angeboten, die den gesteckten Programmrahmen ausfüllen. Ein solches Vorgehen wird dem frühen Stadium der Technologieentwicklung innerhalb des Innovationsprozesses der Biotechnologie gerecht (Abb. 12) und entspricht den bisherigen Erfahrungen aus der Durchführung der ersten Programmperiode, dieses Programm sehr flexibel zu halten.

Forschungsdefizite treten häufig aus einem mangelnden interdisziplinären Vorgehen bei der Bearbeitung von wissenschaftlichen und technologierelevanten Fragestellungen auf. Die Biotechnologie verlangt die integrierte Anwendung im Wissenschaftsbetrieb nicht selten weit voneinander entfernt etablierter Disziplinen. Obwohl grundsätzlich die Bereitschaft zur fächerübergreifenden Zusammenarbeit wächst, so wächst sie doch nur langsam. Oft ist sie aufgrund eingefahrener Strukturen nicht effizient genug. Da sich sowohl die Förderung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft oder durch die Max-Planck-Gesellschaft auf die zweckfreie Grundlagenforschung richten und an den bestehenden disziplingebundenen Forschungsstrukturen orientieren, muß von anderer Seite kompensiert werden.

Dieses ist innerhalb der biotechnologischen Forschungslandschaft für die Bereiche der längerfristigen, auf Anwendung zielenden Grundlagenforschung eingeleitet durch die Förderung einer eigenständigen Großforschungseinrichtung auf dem Gebiet der Biotechnologie (GBF), die Gründung von Schwerpunktprojekten (wie z. B. die Genzentren) und die Förderung der interdisziplinären Zusammenarbeit über die Wissenschaft hinaus mit Unternehmen durch die industrielle Verbundforschung.

Abb. 12: Diffusion von "Mega-Technologien"
Scenario 1 beschreibt eine beschleunigte Diffusion der neuen Biotechnologie in viele neue Industriesektoren und Anwendungen, einschließlich einer schnellen Entwicklung von neuen Industrieprozessen und Produkten. Es beschreibt einen schnelleren Fortschritt als dieser in der historischen Entwicklung früherer Technologieschübe war. Wegen Zeit- und Energieaufwand für FuE, Ausbildung, Training, Kapitalinvestitionen, sozialen und strukturellen Wandel erscheint es sehr unwahrscheinlich. Nur sehr schnelle Veränderungen der relativen Kosten, Preise und Wirtschaftlichkeit könnten eine solche Entwicklung bewirken. Scenario 4 geht von einer viel langsameren Diffusionsrate aus, als das derzeit real erkennbare Potential der Technologie erkennen läßt. Das bedeutete nicht nur, daß "Bio-Chips" sondern auch viele andere erwartete Anwendungen der Biotechnologie in der chemischen, landwirtschaftlichen, lebensmitteltechnischen, medizinischen, Mineral-, Umwelt- und anderen Industrien selbst in der Zukunft noch etwa 20 Jahre FuE benötigen. Auch dieses Scenario erscheint ziemlich unwirklich bezogen auf das augenblickliche Tempo und das technologische Potential. Am wahrscheinlichsten liegt die künftige Entwicklung zwischen Scenario 2 und Scenario 3, in denen die Biotechnologie beginnt, eine bedeutende Basis für neue Investitionen und für Wirtschaftswachstum in der zweiten oder dritten Dekade des nächsten Jahrhunderts zu sein.

Mit diesen Förderinstrumenten schafft das Förderprogramm Biotechnologie gezielt Anreize zur Verstärkung der interdisziplinären und der intersektoralen Kommunikation und Kooperation (z. B. auf den Gebieten Gentechnik und Bioprozeßtechnik) und für den Technologie- und Know-how-Transfer zwischen Einrichtungen der Grundlagenforschung (Hochschulen) und der nutzenden Industrie (z. B. bei der Entwicklung der Grundlagen für die Produktion eines Wirkstoffes gegen Herzinfarkt). Die GBF und andere biologisch forschende Großforschungseinrichtungen wie auch die Schwerpunktprojekte wirken als Kristallisationspunkte für eine weiterführende Verbundforschung dieser wissenschaftlichen Einrichtungen mit der nutzenden Wirtschaft.

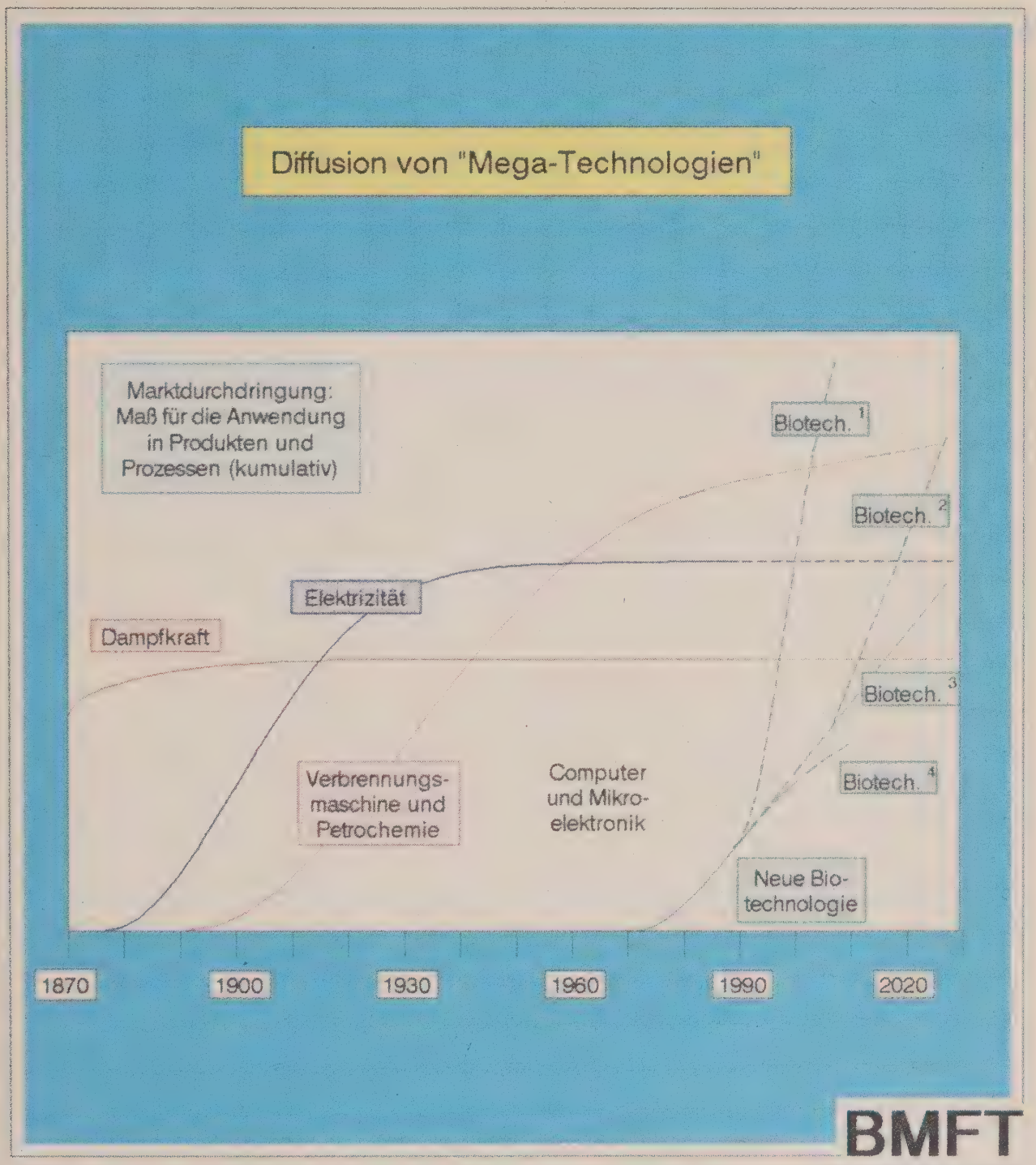


Abb. 12

Aufgrund des Neuheitsgrades der Biotechnologie ergeben sich stets Aufgabenfelder, die von der Wissenschaftsseite her noch wenig erschlossen sind. Hier fehlt es dann in personeller und apparativer Hinsicht an dem erforderlichen Forschungspotential. Dies traf vor kurzem noch z. B. für die Photosyntheseforschung, für die neurobiologische Forschung oder für die Biosensorik zu. Auch Fragen der Sicherheitsforschung und Technologiefolgenabschätzung für die Biotechnologie werden durch die Schwerpunktsetzung im Programm zunehmend aufgegriffen.

Forschungslücken entstehen auch dadurch, daß bestimmte Fragestellungen der modernen biologischen Forschung umfangreiche Vorarbeiten erfordern. Solche Vorarbeiten unterbleiben dann, wenn sie von anderer Stelle nicht oder nicht rechtzeitig fördernd aufgegriffen werden. Das Projekt "Biologische Wasserstoffgewinnung" hätte ohne BMFT-Förderung nicht begonnen werden können, obwohl eine Technikstudie über alternative Energiequellen diesen Bereich als langfristig wichtig eingestuft hatte.

Forschungsdefizite im Anwendungsbereich resultieren zudem aus unterschiedlichen Interessenslagen der Wissenschaft und der vorwiegend marktorientierten Industrieforschung. Die Förderung von Verbundforschungsvorhaben ermöglicht eine zeitnahe Nutzung innovativer Ansätze für die Produkt- und Verfahrensentwicklung. Sie schafft gleichzeitig die Voraussetzungen zum notwendigen und intensiven Bearbeiten übergreifender Problemstellungen zur Qualitätssicherung und zu Fragen der Prüfung und Bewertung von Geräten und Verfahren.

Die zentrale Aufgabe des Programms "Biotechnologie 2000" besteht aus forschungs- und technologiepolitischer Sicht darin, durch gezielte Förderangebote und strukturverbessernde Maßnahmen die Rahmenbedingungen zur nationalen Entwicklung dieser Basistechnologie zu setzen, um die übergreifenden Zielsetzungen im Aufgabenfeld des Bundes zu erreichen. Diese Aufgabe schließt die Entwicklung einer in ganz Deutschland einheitlichen Forschungslandschaft ein, in der sich möglichst bald auch die Forschungskapazitäten in Mitteldeutschland als integraler Bestandteil verstehen.

Die Mehrheit der Programmziele wird in naher Zukunft nicht abschließend erreicht werden können. Das gilt insbesondere für die langfristig angelegte Grundlagenforschung als auch für den Technologieschub, der von der Biotechnologie erwartet wird. Dagegen ist nicht ausgeschlossen, daß im Einzelfall die kurzen Wege von der biologischen Grundlagenforschung zu technologischen Durchbrüchen im Vorsorgebereich oder bei neuen Produkten und Produktionsverfahren führen. Viele der angestoßenen Entwicklungen und z. T. bereits ergriffenen Maßnahmen werden an ihren Auswirkungen erst mittel- und längerfristig zu messen sein. Die programmatischen Überlegungen sind daher für einen wesentlich längeren Zeitraum als die vorliegende Programmphase angelegt. Die zeitliche Festlegung der Programmlaufzeit bietet aber die Möglichkeit, in regelmäßigen Abständen das bisher Erreichte zu sichten, zu bewerten, und, wo erforderlich, auch Kurskorrekturen vorzunehmen oder neue vordringliche Ziele einzubringen.

3. Rahmenbedingungen

Rechtlicher Rahmen

Biologisches und biotechnologisches Forschen und Arbeiten unterliegen in der Bundesrepublik Deutschland zahlreichen Vorschriften und rechtlichen Regelungen, die der Sicherheit sowohl der Wissenschaflter und ihrer Mitarbeiter, als auch der Öffentlichkeit und der Umwelt dienen. In diesem Zusammenhang sind u.a. *Bundesseuchengesetz, Chemiekaliengesetz, Naturschutzgesetz, Tierschutzgesetz* und *Unfallverhütungsvorschriften* zu nennen. Weitere Regelungen sind in jüngster Vergangenheit für die *Gentechnik* hinzugekommen. Darüber hinaus ist jeder Projektnehmer zur Beachtung des Art. 2 zum Gesetz zu dem Übereinkommen vom 10. April 1972 über das *Verbot der Entwicklung, Herstellung und Lagerung bakteriologischer und biologischer Waffen und von toxinen Waffen verpflichtet.*

Die Biotechnologie ist eng mit dem Begriff "Gentechnik" verknüpft. Unter diesem ursprünglich falsch aus dem angelsächsischen Sprachgebrauch als "Gentechnologie" übernommenen Begriff werden die seit Anfang der siebziger Jahre entwickelten Methoden und Verfahren zur Identifikation, Isolierung und Untersuchung der Träger der genetischen Information, zur Neukombination der Erbinformation außerhalb eines Organismus sowie zur Einführung der neukombinierten Erbinformation in einen Organismus und deren Expression zusammengefaßt. Die Gentechnik findet heute weltweit Einsatz insbesondere in der molekularbiologischen und medizinischen Grundlagenforschung und darüber hinaus in fast allen Bereichen biologischer Forschung.

Bei der Durchführung gentechnischer Arbeiten einzuhaltende Sicherheitsmaßnahmen waren bisher in den "Richtlinien zum Schutz vor Gefahren durch in-vitro neukombinierte Nukleinsäuren (Genrichtlinien)" festgelegt. Sie entsprechen dem internationalen Standard (in einigen Fällen gehen sie darüber hinaus) und haben sich bewährt. Ihre Anwendung wurde im Rahmen der Vergabe von Forschungsmitteln und seit 1988 auch über die Unfallverhütungsvorschrift "Biotechnologie" für die davon betroffenen Einrichtungen und Unternehmen verbindlich gemacht. Auch soweit sie keine allgemeine Rechtsverbindlichkeit besitzen, wurden sie bislang auch durch Selbstbindung der Wirtschaft eingehalten. Nach diesen Genrichtlinien wurden mehr als tausend Laboratorien beim Bundesgesundheitsamt für die Sicherheitsstufen L1 bis L3 (keine in L4) registriert und weit über eintausend Vorhaben der Sicherheitsstufe L2 und L3 auf ihre sachgerechte Eingruppierung überprüft. Bisher sind keine Unfälle, die auf die Anwendung und Nutzung der Gentechnik zurückzuführen sind, bekanntgeworden.

Um eine breite Nutzung der Gentechnik in der Bundesrepublik Deutschland zu ermöglichen, war auf Dauer eine allgemein verbindliche gesetzliche Regelung unverzichtbar. Deshalb hat die Bundesregierung den Entwurf eines Gentechnikgesetzes vorgelegt. Das am 01.07.1990 in Kraft getretene Gesetz dient auch der Umsetzung gemeinschaftlicher Ziele und Anforderungen in nationales Recht, die von der Europä-

ischen Gemeinschaft in Form von Richtlinien zur Nutzung der Gentechnik erarbeitet werden.

Der Rat der Europäischen Gemeinschaft hat hierzu im April 1990 zwei Richtlinien beschlossen. Es handelt sich um die

- Richtlinie über die Verwendung genetisch veränderter Mikroorganismen in geschlossenen Systemen

und die

- Richtlinie über die absichtliche Freisetzung genetisch veränderter Organismen in die Umwelt.

Erstere enthält Mindestanforderungen; einzelne Mitgliedstaaten werden dadurch nicht daran gehindert, verstärkte Schutzmaßnahmen beizubehalten oder zu ergreifen, sofern sie mit dem EWG-Vertrag vereinbar sind.
In der Richtlinie zur Freisetzung sind die Vorschriften für die Mitgliedstaaten hingegen bindend. Schärfere nationale Maßnahmen sind nur unter besonderen Bedingungen möglich.

Für den Schutz der Arbeitnehmer vor Gefahren durch biologische Arbeitsstoffe hat der EG-Ministerrat ferner einen gemeinsamen Standpunkt zu einem Richtlinienentwurf für eine Arbeitsschutzrichtlinie beschlossen, die Mindestanforderungen für Schutzmaßnahmen beim Umgang auch mit nicht-gentechnisch veränderten gefährlichen Mikroorganismen vorsieht.

Zweck des nationalen Gentechnikgesetzes ist es,

- Leben und Gesundheit von Menschen, Tieren, Pflanzen sowie die sonstige Umwelt vor möglichen Gefahren gentechnischer Verfahren und Produkte zu schützen und dem Entstehen solcher Gefahren vorzubeugen und

- den rechtlichen Rahmen für die Erforschung, Entwicklung, Nutzung und Förderung der wissenschaftlichen und technischen Möglichkeiten der Gentechnik zu schaffen.

Das Gesetz gilt für die Durchführung gentechnischer Arbeiten in Anlagen zu Forschungs- oder zu Produktionszwecken sowie die Freisetzung und das Inverkehrbringen gentechnisch veränderter Organismen. Arbeiten in Anlagen werden je nach Gefährdungsgrad in vier Sicherheitsstufen, die jeweils abgestufte Sicherheitsmaßnahmen erfordern, eingeteilt. Die Errichtung und der Betrieb von Anlagen bedürfen grundsätzlich einer Genehmigung durch Landesbehörden, die auch zur Durchführung bestimmter Arbeiten berechtigt. Für in einer genehmigten Anlage durchgeführte weitere Arbeiten werden je nach Zweck (Forschung oder Produktion) bzw. je nach Ge-

fährdungsgrad Genehmigungs-, Anmelde- oder Aufzeichnungspflichten vorgeschrieben. Freisetzung und Inverkehrbringen bedürfen einer Genehmigung durch das Bundesgesundheitsamt. Sämtliche Genehmigungen sind innerhalb einer Frist von drei (ausnahmsweise sechs) Monaten zu erteilen.

Die beim Bundesgesundheitsamt eingerichtete Zentrale Kommission für die biologische Sicherheit (ZKBS) prüft und bewertet als Sachverständigenkommission sicherheitsrelevante Fragen in Genehmigungs- und Anmeldeverfahren, gibt hierzu Empfehlungen und berät die Bundesregierung und die Länder in sicherheitsrelevanten Fragen der Gentechnik.

Vor der Entscheidung über die Errichtung und den Betrieb einer gentechnischen Anlage, in der Arbeiten der Sicherheitsstufen 2 bis 4 zu gewerblichen Zwecken durchgeführt werden sollen, hat die zuständige Behörde eine Beteiligung der Öffentlichkeit in Form eines Anhörungsverfahrens durchzuführen (Abb. 13). Auch für Anlagen, in denen gewerbliche Arbeiten der Sicherheitsstufe 1 durchgeführt werden sollen, ist eine derartige Öffentlichkeitsbeteiligung erforderlich, sofern sie aufgrund anderer Gesetze, z. B. im Bundesimmissionsschutzgesetz, vorgesehen ist. Ferner ist vor der Entscheidung über die Genehmigung einer Freisetzung ein Anhörungsverfahren durchzuführen, soweit es sich nicht um Organismen handelt, deren Ausbreitung begrenzbar ist.

Die rechtlichen Regelungen enthalten darüber hinaus Haftungsvorschriften, die für den Fall des Eintritts von Schäden infolge auf gentechnischen Arbeiten beruhender Eigenschaften eines Organismus eine vom Verschulden des Betreibers unabhängige Gefährdungshaftung vorsehen. Das Gesetz bietet daneben eine Rechtsgrundlage zur Umsetzung der künftigen EG-Richtlinie zum Schutz der Arbeitnehmer vor Gefahren durch biologische Arbeitsstoffe und damit für unmittelbar geltende Schutzvorschriften auch in Bereichen, für die keine Unfallverhütungsvorschriften bestehen.

Ein Gentransfer in menschliche Keimbahnzellen soll im Rahmen des Embryonenschutzgesetzes verboten werden. Auch das Tierschutzgesetz ist mit der Verabschiedung des Gentechnik-Gesetzes dahingehend geändert worden, daß Eingriffe und Behandlungen zu Versuchszwecken an Erbgut von Tieren, wenn sie mit Schmerzen, Leiden oder Schäden für die erbgutveränderten Tiere oder deren Trägertiere verbunden sein können, den Vorschriften über Tierversuche unterworfen werden. Damit ist im Zusammenhang mit anderen Vorschriften dieser Gesetze auch der Rahmen für einen verantwortungsvollen Umgang mit der Gentechnik bei Tieren gegeben.

Vorhaben und Projekte, die mit finanzieller Unterstützung des BMFT durchgeführt werden und die Forschungen am Menschen (z. B. im Zusammenhang mit der Gesundheitsforschung) vorsehen, unterliegen der vorherigen *Prüfung durch Ethik-Kommissionen.* Dabei werden in der Regel die geltenden Empfehlungen der Kommission der Europäischen Gemeinschaften zugrundegelegt, die sich im wesentlichen mit den Verfahrensgrundsätzen des Arbeitskreises medizinischer Ethik-Kommissionen in der

Risikogruppen, Sicherheitsmaßnahmen, Sicherheitsstufen in der Gentechnik

Gentechnikgesetz	Rechtsverordnung über Sicherheitsstufen u. Sicherheitsmaßnahmen bei gentechnischen Arbeiten in gentechnischen Anlagen	EG-Richtlinie "Contained Use"	
		GVM-Klassifikation	"Sicherheitsmaßnahme" bzw. Containment-Kategorie
Sicherheitsstufe	Risikogruppe der Organismen		
① gentechnische Arbeiten, bei denen nach dem Stand der Wissenschaft nicht von einem Risiko für die menschliche Gesundheit und die Umwelt auszugehen ist.	1	Gruppe I	(GILSP)
② gentechnische Arbeiten, bei denen nach dem Stand der Wissenschaft von einem geringen Risiko für die menschliche Gesundheit oder die Umwelt auszugehen ist.	2	Gruppe II	1
③ gentechnische Arbeiten, bei denen nach dem Stand der Wissenschaft von einem mäßigen Risiko für die menschliche Gesundheit oder die Umwelt auszugehen ist.	3	Gruppe II	2
④ gentechnische Arbeiten, bei denen nach dem Stand der Wissenschaft von einem hohen Risiko oder dem Verdacht eines solchen Risikos für die menschliche Gesundheit oder die Umwelt auszugehen ist.	4	Gruppe II	3

BMFT
Biotechnologie 2000

Abb. 13

Bundesrepublik Deutschland decken. Diese Empfehlungen beruhen auf der Deklaration von Helsinki in den revidierten Fassungen von Tokyo 1975 und Venedig 1983.

In entsprechender Weise gelten die gesetzlichen Regelungen für den Tierschutz. Nach den Bestimmungen des Tierschutzgesetzes sind Tierversuche auf das unerläßliche Maß einzuschränken und dürfen insbesondere nicht durchgeführt werden, wenn der verfolgte Zweck durch andere Methoden oder Verfahren erreicht werden kann. Sobald Ersatzmethoden ihre allgmeine Anwendbarkeit und ihre Zuverlässigkeit unter Beweis gestellt haben, sind in einem solchen Fall Tierversuche nicht mehr zulässig. Dies ist bei der Überarbeitung von Prüfrichtlinien und ähnlichen Vorschriften, etwa im Bereich der Arzneimittelsicherheitsprüfung, zu berücksichtigen.

Ethische Fragestellungen

In einem kontinuierlichen Prozeß hat der Mensch seine wissenschaftlichen Fähigkeiten genutzt und weiterentwickelt. Diese Entwicklung verlief jedoch über die Jahrhunderte nicht immer mit gleicher Geschwindigkeit, sondern hat insbesondere in unserem Jahrhundert zu einer gewaltigen Zunahme der wissenschaftlichen Erkenntnisse geführt. Diese neuen Forschungsergebnisse auf einer Vielzahl von Gebieten hat zum einen unser Wissen über uns selbst und über die Natur erheblich erweitert und vertieft, sowie neue Zusammenhänge aufgezeigt. Andererseits sind sie unverzichtbare Grundlage für die technische Weiterentwicklung. Erst durch die technische Nutzung der wissenschaftlichen Erkenntnisse sind wir in der Lage, die Lebensbedingungen für viele Menschen zu verbessern, ihnen ausreichend Lebensmittel zur Verfügung zu stellen, sie vor Krankheit zu schützen oder zu heilen. Trotz gewaltiger Anstrengungen von Wissenschaft und Technik sind aber noch viele Frage offen und zahlreiche Probleme ungelöst. Es muß daher unser Ziel sein, Wissenschaft und Technik weiter voranzutreiben. Dies muß jedoch in verantwortungsvoller Weise geschehen, denn wer wissenschaftliche Erkenntnisse und Technik gebrauchen will, muß zwischen Nutzen und Risiken abwägen.

Risiken können bei der Nutzung wissenschaftlicher Erkenntnisse in Mißbrauch zu inhumanen und unethischen Zwecken oder in ungewünschten bzw. unerwarteten Folgen der Anwendung liegen. Unerwartete Folgen können durch mehr Forschung und mehr Wissen aber auf ein Mindestmaß reduziert werden, wohlwissend, daß alle menschliche Erkenntnis derartige Risiken nicht vollständig auszuschließen vermag.

Ungewünschte Folgen, gewissermaßen Begleiterscheinungen der Nutzung neuer Techniken, müssen sehr genau daraufhin untersucht werden, ob der Nutzen für ein Individuum oder für die Gesellschaft in einem vertretbaren und akzeptierbaren Verhältnis zu dem damit verbundenen Risiko steht. Der Mensch muß auch auf der Grundlage des jeweils aktuellen Erkenntnisstandes verantwortlich entscheiden, ob in der Nutzung oder in der Nichtanwendung einer technischen Neuerung ein größeres Risiko zu sehen ist. Es ist jedoch gerechtfertigt, mögliche Risiken oder negative Auswirkungen in Kauf zu nehmen, wenn durch das Nichtanwenden dieser Technik ein noch größerer

Schaden entstehen würde. Um hier die notwendige und die erforderliche Sicherheit zu gewährleisten, muß gegebenenfalls der Staat entsprechende Maßnahmen ergreifen.

Der Einzelne bedarf jedoch eines eigenen Freiraumes, um Verantwortung wahrnehmen und Kreativität und Eigeninitiative entfalten zu können. Der Staat muß nach dem Grundsatz der Subsidiarität auf die Übernahme solcher Verantwortlichkeiten verzichten, die der Einzelne oder jeweils kleinere Gemeinschaften tragen können. Was der Bürger, der Forscher, der Techniker allein oder im Zusammenwirken mit anderen leisten kann, muß ihnen vorbehalten bleiben.

Ein und dieselben wissenschaftlichen Erkenntnisse können oft zum Guten oder Bösen angewandt werden. Wissenschaftliche Erkenntnis selbst kann und darf aber grundsätzlich keiner Vorzensur unterliegen. Sie ist als solche, unbeschadet einer kritischen Prüfung und Bewertung ihrer Anwendungsmöglichkeiten, ausschließlich auf den Wahrheitsgehalt hin zu bewerten.

Forschung vollzieht sich nicht in einem ethikfreien Raum. So gehört zur Aufgabe der Wissenschaft, Folge- und Anwendungsprobleme wissenschaftlicher Erkenntnis einschließlich ethischer Fragen mitzubedenken. Von Wissenschaftlern muß auf möglicherweise gefährliche oder mißbräuchliche Anwendungen wissenschaftlicher Entdeckungen aufmerksam gemacht und darüber diskutiert werden, ob und wie mögliche Risiken eingegrenzt werden können. Damit sind Wissenschaftler und Techniker im besonderen Maße aufgerufen, sich am politischen Meinungsbildungsprozeß zu beteiligen und Handlungsalternativen darzulegen.

Die Frage, welche Maßstäbe außer den wissenschaftlichen an das Handeln des Forschers anzulegen sind, wird angesichts verschiedener Aspekte der biologischen Forschung nachdrücklich gestellt. Insbesondere wo der Mensch selber Gegenstand der Forschung ist, wirft moderne Forschung die Frage nach den *Prinzipien des Handelns und des Unterlassens* auf.

Diese Diskussion ist nicht prinzipiell neu. Bereits seit Beginn der neuzeitlichen Wissenschaft hat die Philosophie sich immer wieder mit ähnlichen Fragestellungen beschäftigt. Die Stellungnahme zu ethischen Grundsatz- und Grenzfragen in Wissenschaft und Forschung liegt primär in der Eigenverantwortung der Wissenschaft selbst.

In der Frage der Forschungsethik nimmt aber auch die Bundesregierung ihre Verantwortung für eine sachliche Diskussion, für angemessene Entscheidung und für die Wahrung des Rechts auf diesem Gebiet sehr ernst. Das frühzeitige Aufgreifen der Fragen zur künstlichen Befruchtung beim Menschen, der Forschung an menschlichen Embryonen, des gentechnischen Eingriffs in das menschliche Erbgut, die Arbeit am Embryonen-Schutz-Gesetz, die Einrichtung der Bund-Länder-Arbeitsgruppe "Genomanalyse", die Einladung des Bundeskanzlers an Wissenschaftler aus den Teilnehmerstaaten des Weltwirtschaftsgipfels zu einer Diskussion über ethische Fragen der

neurobiologischen Forschung und die Einrichtung des Arbeitskreises Genforschung sind dafür Belege.

Diese Aufzählung zeigt, daß im wesentlichen immer dann ethische Fragen aufgeworfen und diskutiert werden, wenn es um Forschung am Menschen oder um die Anwendung von Forschungergebnissen am Menschen geht, d. h. ethische Fragestellungen ergeben sich kaum oder gar nicht im Bereich der reinen Biotechnologie, also der technischen Nutzung biologischer Prozesse, z. B. mit Hilfe von Zellkulturen oder Mikroorganismen.

Dies wird in der öffentlichen Diskussion leider oft nicht scharf getrennt und hat sicher mit zu den Akzeptanzschwierigkeiten der Biotechnologie in der Öffentlichkeit beigetragen.

Die Bundesregierung ist bemüht, zur Objektivierung der Diskussion beizutragen und auf den Gebieten die Diskussionen zu fördern, auf denen eine gesellschaftliche Klärung notwendig ist. Die nachfolgende Darstellung macht noch einmal deutlich, daß die zur Zeit die öffentliche Diskussion beherrschenden Themen die Anwendung der Ergebnisse biomedizinischer Forschungsergebnisse am Menschen betreffen und auch im Rahmen der medizinischen Forschung mitbehandelt werden müssen.

Die Bundesregierung ist sich bewußt, daß die Entwicklung und Nutzung moderner Methoden, insbesondere in der biomedizinischen Forschung, große Chancen eröffnet, aber auch Risiken bergen kann. Dies gilt neben der Gentechnik und ihrer Anwendung am Menschen insbesondere für die künstliche Befruchtung und den Umgang mit menschlichen Embryonen. Sie hat sich deshalb frühzeitig um die *interdisziplinäre Klärung* der mit den neuen Technologien verbundenen naturwissenschaftlichen, rechtlichen und ethischen Fragen bemüht. Eine im Mai 1984 vom Bundesminister der Justiz (BMJ) und vom Bundesminister für Forschung und Technologie gemeinsam eingesetzte Arbeitsgruppe hat im November 1985 ihren Bericht vorgelegt, dessen Arbeitsergebnis und Empfehlungen für die weiteren politischen Entscheidungen im Zusammenhang mit In-vitro-Fertilisation, Genomanalyse und Gentherapie richtungsweisend sind (Bericht erschienen bei J.Schweitzer Verlag, München). Im Hinblick auf die Bund-Länder-übergreifende Gesetzgebungskompetenz in diesem Bereich hat unter Federführung des BMJ eine Bund-Länder-Arbeitsgruppe "Fortpflanzungsmedizin" einen Bericht über den staatlichen Handlungsbedarf vorgelegt. Daraufhin erstatteten BMJ, BMJFFG und BMFT im Januar 1988 einen gemeinsamen Kabinettbericht zu Fragen der künstlichen Befruchtung beim Menschen. Als wichtigen Schritt in Richtung auf ein für unabdingbar erkanntes Maß von gesetzlichen Regelungen in diesem Bereich hat die Bundesregierung den Entwurf eines Embryonenschutzgesetzes vorgelegt, durch das strafrechtliche Verbote in diesem Zusammenhang dort eingreifen sollen, wo der Gesetzgeber der Wertentscheidung des Grundgesetzes zugunsten der Menschenwürde und des Lebens in besonderem Maße Rechnung trägt.

Unter der Federführung des BMJ wurde eine *Bund-Länder-Arbeitsgruppe "Genomanalyse"* tätig, die sich insbesondere mit den rechtlichen Aspekten der Anwendung gendiagnostischer Methoden am Menschen befaßt. Die Arbeitsgruppe hat im Mai 1990 ihren Abschlußbericht vorgelegt (erschienen bei der Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft mbH, Bonn). Darüber hinaus hat der BMFT einen interdisziplinär besetzten Arbeitskreis "Genforschung" eingesetzt, der sich mit den ethischen und sozialen Aspekten befaßt, die sich aus der Erforschung des menschlichen Genoms ergeben. Der Arbeitskreis wird seinen Bericht 1990 vorlegen.

Auf europäischer Ebene beschäftigt sich schon seit längerem der Europarat mit den ethischen Fragen der Biowissenschaften. So hat die parlamentarische Versammlung des Europarates bereits am 2. Februar 1989 eine Empfehlung "zu dem Gebrauch menschlicher Embryonen und Feten in der wissenschaftlichen Forschung" verabschiedet. Ferner hat das Ministerkomitee des Europarates im Februar und Juni 1990 die von dem "Ad-hoc-Ausschuß für Bioethik" (CAHBI) vorbereiteten Empfehlungen "zur medizinischen Forschung am Menschen" und "zur pränatalen genetischen Untersuchung, Diagnose und Beratung" angenommen. Schließlich wird im Rahmen des Europarats zur Zeit geprüft, ob die Möglichkeit zur Schaffung einer europäischen Konvention zum Schutze der menschlichen Person im Hinblick auf die Biomedizin besteht. Auf EG-Ebene trafen sich die Forschungsminister aus den Mitgliedsländern und Vertreter der Kommission der EG im März 1990 in Kronberg/Taunus auf Initiative des BMFT zu einem Meinungs- und Erfahrungsaustausch über *ethische Grundsatzfragen der Embryonenforschung* sowie der *Genomforschung* und ihrer Anwendungsmöglichkeiten. Vor dem Hintergrund verschiedener Gesetzesinitiativen in einzelnen europäischen Ländern, einer Reihe von Forschungsprojekten zur Genomforschung - u. a. im Rahmen des internationalen Human Frontier Science Programme - und dem in Vorbereitung befindlichen EG-Programm zur Analyse des menschlichen Genoms diente das Forschungsministertreffen vor allem folgenden Zielen:

- Identifizierung von Übereinstimmungen in ethischen Grundsatzfragen der biomedizinischen Forschung;

- Diskussion von divergierenden Positionen zu einzelnen Aspekten der Embryonenforschung und der Anwendung der Ergebnisse der Genomforschung;

- Entwicklung von gemeinsamen Überlegungen und Verfahrensschritten zur Annäherung unterschiedlicher Bewertungsansätze und Positionen.

In der Diskussion kam zum Ausdruck, daß beim Umgang mit menschlichen Embryonen innerhalb Europas weitgehende Übereinstimmung besteht und daß u. a. folgende Praktiken nicht vertretbar sind:

- Forschung an menschlichen Embryonen, die auch am Tiermodell durchgeführt werden können;

- Forschungen an menschlichen Embryonen, die ohne Einwilligung der genetischen Eltern durchgeführt werden;

- Untersuchungen, bei denen menschliche Embryonen routinemäßig oder serienmäßig in Prüfverfahren verwendet werden;

- Klonierung, d. h. die künstliche Herstellung und Vermehrung von genidentischen Embryonen durch künstliche Teilung von Embryonen in einem früheren Entwicklungsstadium;

- Erzeugung von Mischwesen aus Mensch und Tier.

Die Frage nach dem Beginn des Lebens läßt sich mit naturwissenschaftlichen Methoden allein nicht beantworten. Vor dem Hintergrund der unterschiedlichen Rechtstraditionen und politischer Wertungen, die etwa auch in der Gesetzgebung zu anderen ethischen Fragen, wie z. B. zum Schwangerschaftsabbruch, zum Ausdruck kommen, zeichnet sich derzeit keine europäische Übereinstimmung in dieser Frage ab. Es sollte jedoch auf eine Annäherung in den Zulässigkeitskriterien zur Embryonenforschung, soweit sie nicht gänzlich verboten ist, hingearbeitet werden, etwa durch Zusammenarbeit der Ethik- bzw. Genehmigungskommissionen in Europa oder durch die Entwicklung eines gemeinsamen Verhaltenskodex der Wissenschaftler.

In der ethischen Beurteilung der Erforschung des menschlichen Genoms konnte eine weitgehende Übereinstimmung in allen Ländern der Gemeinschaft festgestellt werden. Die Ergebnisse dieser Forschung werden mit dazu beitragen, die Ursachen von Krankheiten zu erkennen und Therapiemöglichkeiten zu entwickeln. Die Erforschung des menschlichen Genoms stellt eine große wissenschaftliche Aufgabe dar, die auch im Rahmen gemeinsamer Programme der EG vorangebracht werden soll, vor allem mit dem Programm "Analyse des menschlichen Genoms".

Die Anwendung der Ergebnisse der Genomanalyse zu diagnostischen Zwecken wirft andererseits eine Reihe von ethischen, sozialen und rechtlichen Aspekten auf, die eingehender Erörterungen bedürfen, wobei möglichst Regelungen in der Europäischen Gemeinschaft anzustreben sind.

Im EG-Programm "Analyse des menschlichen Genoms" ist daher ein Komitee für ethische, rechtliche und soziale Fragen der Anwendung der Ergebnisse gendiagnostischer Methoden vorgesehen.

Die Forschungsminister kamen zum Abschluß ihrer Beratungen zu folgenden gemeinsamen Vorgehenssschritten, die im EG-Forschungsministerrat weiter behandelt werden sollen:

Zur Erweiterung und Vertiefung gemeinsamer Standpunkte und des gemeinsamen Handelns hat die EG-Kommission auf Initiative des BMFT im Forschungsministerrat

hochrangige Experten für zwei Arbeitsgruppen berufen, die der EG-Kommission zugeordnet sind und dem Forschungsministerrat berichten sollen:

- Eine dieser Arbeitsgruppen soll die Entwicklung von Gesetzgebung und Praxis im Bereich der Embryonenforschung in den Mitgliedsländern beobachten und gemeinsame Anstrengungen unternehmen, um den Konsensbereich für den Umgang mit menschlichen Embryonen festzustellen und darüber hinausgehende Optionen, u. a. gemeinsamer Verhaltenskodex, Zusammenarbeit der nationalen Ethik- bzw. Genehmigungskommissionen, auf ihre Konsensfähigkeit zu prüfen.

- Ausgehend von dem gemeinsamen Verständnis, daß die Grundlagenforschung zum Genom ethisch unbedenklich ist, die Anwendung ihrer Ergebnisse jedoch eine Reihe ethischer, rechtlicher und sozialer Fragen aufwerfen kann, soll eine zweite Arbeitsgruppe sich mit diesen Aspekten der Anwendung, etwa auf den Gebieten Pränataldiagnostik, Reihenuntersuchungen von Neugeborenen, Arbeitsmedizin, Versicherungswesen und Strafrecht, befassen.

4. Situation der Biotechnologie in Wissenschaft und Wirtschaft

Durch neue Erkenntnisse der Grundlagenforschung reift die Biologie zunehmend von einer die Phänomene beschreibenden zu einer die molekularen Vorgänge erklärenden Naturwissenschaft. Dieser Prozeß ist noch längere Zeit nicht abgeschlossen, und wir erleben ihn derzeit in seiner vermutlich ersten großen Wachstumsphase. Biotechnische Produkte werden in vielen Produktionsbereichen erzeugt (Abb. 14).

Mit zunehmendem Erkenntnisstand der Biologie wächst die Zuverlässigkeit und Sicherheit der auf sie gegründeten Technik. Damit tritt die Biotechnologie mit einem Teil ihrer Produkte und Verfahren gleichzeitig in unmittelbare Konkurrenz zur physikalischen und chemischen Technik, deren Waren und Prozesse fast ausschließlich die heutige Produktion bestimmen. Die längerfristigen Konsequenzen sind je nach Wirtschaftssektor gleichzeitig komplexe Ablösungs- und Erneuerungsprozesse, die gekoppelt sind an strukturellen Wandel, neue gemeinschaftliche Herausforderungen und gesellschaftliche Folgen. Nach Untersuchungen der OECD ist die neue Biotechnologie darüber hinaus mit hohen Markterwartungen verbunden (Abb. 15 u. 16); Schätzungen können allerdings um Größenordnungen differieren, wie das Beispiel der Markterwartungen für Biosensoren zeigt. (Abb. 17).

Der Innovationsprozeß in der Biotechnologie wird von zwei traditionellen Gruppierungen getragen: den Forschungs- und Bildungsinstitutionen auf der einen Seite und den etablierten Industrieunternehmen mit leistungsfähigen Forschungsgruppen auf der anderen Seite. In der Bundesrepublik sind dies die Hochschulen der Länder, die Großforschungseinrichtungen, wie z. B. die GBF und das DKFZ, sowie andere öffentlich

Biotechnologische Produkte

Bereiche	Produkte
Chemikalien: organische (Massenchemikalien)	Ethanol, Aceton, Butanol, organische Säuren (Zitronensäure, Itaconsäure, Milchsäure)
organische (Feinchemikalien)	Enzyme, Duftstoffe, Polymere (hauptsächlich Polysaccharide)
anorganische	Metall-Anreicherung, Bioakkumulation und mikrobielle Laugung (Cu, U)
Pharmazeutika	Antibiotika, diagnostische Substanzen (Enzyme, Antikörper), Immunregulatoren, Enzyme, Enzym-Inhibitoren, Blutplasmaprodukte, Proteohormone, Steroide, Impfstoffe
Energie	Ethanol (Gasohol), Methan (Biogas), Biomasse
Nahrungsmittel	Molkereiprodukte, Fisch- und Fleischprodukte, Getränke (Alkoholika, Tee und Kaffee), Backhefe, Nahrungsmittel-Zusatzstoffe (Antioxidantien, Farb- und Geschmacksstoffe, Stabilisatoren), Pilzproduktion, Aminosäuren, Vitamine, Stärkeprodukte, Glukose und Sirup mit hohem Fruktosegehalt, funktionelle Modifizierungen an Proteinen, Pektine, Beseitigung von Toxinen
Landwirtschaft	Tierfutter, Tierimpfstoffe, Einsäuerungs- und Kompostierungsverfahren, mikrobielle Schädlingsbekämpfungsmittel, Rhizobium und andere stickstoffoxidierende bakterielle Impfkulturen, Mikorrhiza-Impfkulturen, Pflanzenzell- und Gewebekulturen, ungeschlechtliche Pflanzenvermehrung, Embryo-Produktion, genetische Verbesserung, Antibiotika
Umwelt	Wasserreinigung, Abwasserbehandlung, Abfallverwertung, Ölrückgewinnung, analytische Verfahren, Altlastensanierung
Bioelektronik	Biosensoren

BMFT
Biotechnologie 2000

Abb. 14

Nach gentechnischen Verfahren gewonnene Produkte
Abschätzung des Weltmarktvolumens 1995

Produkt	Weltmarktvolumen 1995 (MIO US $)
Antikörper	
septischer Schock	250
Antitumormittel	
Tumor Necrosis Factor (TNF)	150
γ-Interferon	100
α-Interferon	100
Interleukin 2 (IL-2)	300
β-Interferon	50
Immunotoxine	200
Herz-Kreislaufmittel	
Gewebeplasminogenaktivator (TPA)	600
Superoxiddismutase (SOD)	250
Artriales Natriuretisches Peptid (ANP)	185
Protein C	nicht abschätzbar
"Colony Stimulating Factors" (CSF)	
Erythropoietin	350
G-, GM-, M-CSF, Interleukin 1 (IL-1) etc.	350
Enzyme/Enzym-Inhibitoren	
Glucocerebrosidase	100
Collagenase-Inhibitor	nicht abschätzbar
Elastase-Inhibitor	nicht abschätzbar
Wundheilungsfaktoren	500
Vakzine	
Hepatitis B	85
Herpes	250
AIDS	nicht abschätzbar
Andere Produkte	
Humanes Insulin	300
Humanes Wachstumshormon	225
Faktor VIII	70
"Lung Surfactant"	40
	4.455

BMFT
Biotechnologie 2000

Abb. 15

geförderte Forschungsinstitutionen, z. B. die Genzentren in Berlin, Heidelberg, Köln und München. Die Schwerpunkte dieser Institutionen liegen in der Grundlagenforschung sowie - teilweise - in der Ausbildung und akademischen Lehre.

Schwerpunkte der etablierten Industrieunternehmen sind demgegenüber die angewandte Forschung und Entwicklung sowie die Produktion und das internationale Marketing. Der Stellenwert, den die Biotechnologie in der Wirtschaft gegenwärtig einnimmt, wird durch die derzeit bestehenden Märkte gekennzeichnet. Der Weltmarkt für Biotechnologieprodukte erreichte nach Untersuchungen der chemischen und pharmazeutischen Industrie im Jahr 1985 ein Volumen von ca. 450 Mrd. DM. Davon entfielen auf die klassische Biotechnologie (Molkereiprodukte, Backwaren, Bier, Wein etc.) rund 75 % und auf Antibiotika, Aminosäuren und Enzyme mehr als 10 % (d. h. rd. 50 Mrd. DM weltweit). Der Schwerpunkt der Marktanteile für die moderne Biotechnologie liegt zur Hälfte bei pharmazeutischen Produkten für den Human- und Tiersektor (jeweils zu gleichen Teilen).

Die Aufwendungen der Industrie in der Bundesrepublik Deutschland für biotechnologische Forschung und Entwicklung liegen nach Eigenschätzungen der Industrie derzeit bei etwa 250 Mio. DM jährlich. Hinzu kommen noch etwa 250 Mio. DM öffentliche Mittel des Bundes, überwiegend für universitäre und außeruniversitäre Forschung.

Märkte für Monoklonale Antikörper

(in Mio. US-Dollar)	1987	1990	1995
Weltmarkt	200		6400
US-Markt (in medizinischer Anwendung)	10	2100	

BMFT
Biotechnologie 2000

Abb. 16

Demgegenüber investierten Unternehmen in den USA nach einem OTA-Report (1988) im Jahre 1987 mehr als 3 Mrd. DM (403 Biotechnologie-Firmen und 70 größere Unternehmen mit Biotechnologieaktivitäten). Die Forschungsförderung für Biotechnologie der US-Administration beläuft sich auf etwa 4,5 Mrd. DM, davon stammen allein vom NIH (Natl. Institut of Health) 3,9 Mrd. DM.

Die Angaben für die Aufwendungen der US-Administration lassen sich allerdings nicht unmittelbar mit den Ausgaben des Bundes für Biotechnologie vergleichen. Die von NIH bereitgestellten Mittel enthalten zum großen Teil Fördermittel für die biologische und biomedizinische Grundlagenforschung, die in der Bundesrepublik Deutschland für die entsprechenden Forschungsgebiete von der DFG (1989: 390 Mio.) und der MPG (1989: 430 Mio.) verausgabt werden. Ein Vergleich unter Einbezug dieser Mittel zeigt, daß der Staat mit mehr als 1 Mrd. DM an öffentlichen Finanzmitteln für die Biowissenschaften und die Biotechnologie den USA relativ kaum nachsteht. Entsprechende Aufwendungen der Industrie in der Bundesrepublik Deutschland lassen demgegenüber noch auf sich warten.

Nach den gleichen OTA-Untersuchungen stellen die Regierungen in Europa und Japan ca. 1,35 Mrd. bzw. 850 Mio. DM bereit. Die Tatsache, daß international mehr als 70 % der Forschungsausgaben für den Pharmabereich aufgewendet werden, läßt er-

Schätzungen für den Biosensor-Markt (weltweit)

Marktvolumen in Mio. US-Dollar

	Prognos	SRI	ADL
1990	471	52	70
1995	920	110	160
2000	1.370	200	450

BMFT
Biotechnologie 2000

Abb. 17

Zugelassene, gentechnisch/zellbiologisch hergestellte Arzneimittel

Produkt	Jahr der Erstzulassung	Indikation
Humulin (Humaninsulin)	1982	Diabetes
Humatrope (Humanes Wachstumshormon)	1987	Wachstumshormondefizienz bei Kindern
Protropin (Humanes Wachstumshormon)	1985	Wachstumshormondefizienz bei Kindern
Roferon-A (α2a-Interferon)	1986	Leukämie (Haarzell-Leukämie)
Recombivax HB (Hepatitis B-Impfstoff)	1986	Hepatitis B (Prophylaxe)
Intron A (α2b-Interferon)	1985	Leukämie (Haarzell-Leukämie)
Orthoklone OKT (Monoklonaler Antikörper)	1986	Abstoßungsprophylaxe bei Nierentransplantationen
Activase (Gewebeplasminogenaktivator, TPA)	1987	Herzinfarkt
Eprex (Erythropoietin)	1988	Anämie
Proleukin (Interleukin 2)	1989	Nierenkrebs
γ-Interferon (Polyferon)	1989	Rheumatische Arthritis

BMFT
Biotechnologie 2000

Abb. 18

kennen, daß hier das gegenwärtig größte Entwicklungsfeld für biotechnologische Produkte gesehen wird und die größten Marktchancen zu erwarten sind.

Der hohe Anteil der Forschungs- und Entwicklungsaufwendungen der Industrie für den human-pharmazeutischen Anwendungsbereich entspricht den Umsätzen und Marktprognosen auf den Marktsegmenten Human-Therapeutika und Human-Diagnostika, die mit gentechnischen Verfahren gewonnen werden (Abb. 18). 1988 lag dieser Umsatzanteil in den USA bei ca. 90 % des mit Produkten der "neuen Biotechnologie" erzielten Gesamtumsatzes. Es wird vermutet, daß diese beiden Segmente auch noch in 10 Jahren den Markt dominieren. Insgesamt dürfte sich hiernach der Umsatz von Produkten der "neuen Biotechnologie" in den nächsten 10 Jahren etwa verzehnfachen.

Im Mittelpunkt stehen die Produktion von Proteinen mit genetisch veränderten Mikroorganismen oder Säugerzellen. Einige Produkte aus dem Pharmabereich befinden sich bereits im Handel. Andere haben das Forschungsstadium überwunden und drängen auf Markteinführung. Beispiele sind die gentechnisch gewonnen Produkte Insulin, Faktor VIII zur Behandlung der Bluterkrankheit, Gewebeplasminogenaktivator (tPA) für die Behandlung des Herzinfarktes und der Tumor Nekrose Faktor (TNF) zur Krebstherapie u.a.. Monoklonale Antikörper als Präparate für die medizinische Diagnostik und auf dem Gebiet der Bekämpfung von Infektionskrankheiten werden der

Abb. 19: Proteinbiosynthese des t-PA Moleküls am Ribosom

Biotechnologie neue Märkte erschließen. Für deren Entwicklung bestehen in der Bundesrepublik Deutschland in der biotechnologischen Forschung und in den Entwicklungslaboratorien der Industrie hervorragende Forschungs- und Entwicklungskapazitäten.

Eine ebenfalls hervorragende wissenschaftliche und industrielle Ausgangsbasis besteht auf dem Sektor der Verfahrenstechnik und des Apparatebaus für die Biotechnologie. Sobald neue Produkte gefunden werden, sind fast immer auch neue Prozesse zu entwickeln und verfahrenstechnisch auszulegen. Die Entwicklung spezieller Reaktoren, die den hohen Anforderungen an Sterilität und Vermeidung unerwünschter Emissionen entsprechen, kann auf dieser guten Basis aufbauen. Meß- und Regelungstechnik, die Entwicklung und der Einsatz von Biosensoren und die Gestaltung integrierter Anlagenkonzepte sind Schwerpunkte derzeitiger Untersuchungen.

In der Anwendung der Gentechnik ist in der Bundesrepublik der weltweite Standard erreicht, soweit der Forschungs- und Entwicklungsbereich angesprochen ist. Sowohl für den wissenschaftlichen wie für den Produktionssektor haben die Gen-Richtlinien für den sicheren Umgang mit gentechnisch veränderten Organismen in der Vergangenheit den nötigen Rahmen geschaffen. Produktionsvorhaben auf diesem Gebiet wurden, bis auf wenige Ausnahmen (z. B. tPA), in der Vergangenheit nicht aufgenommen. Mit Verabschiedung des Gentechnik-Gesetzes ist der geregelte Zustand nunmehr erreicht. Verlagerung von Forschungs- und Produktionskapazitäten der Industrie ins Ausland, vornehmlich in die USA, sind jedoch vermutlich nicht ausschließlich auf das bislang fehlende Rahmengesetz in der Bundesrepublik Deutschland zurückzuführen, sondern erklären sich ebenso durch gezielte Maßnahmen im Rahmen der Firmenpolitik der betreffenden Unternehmen.

Zukunftschancen der Biotechnologie und Gentechnik sieht die Wirtschaft für die Bereiche Gesundheit (Human-Medizin), Ernährung und Chemie. Kurz- bis mittelfristig werden die größten Erfolge im Bereich der Gesundheit, d. h. in der pharmazeutischen Industrie erwartet. Mittel- bis längerfristig liegen die Erwartungen im Bereich Ernährung mit Landwirtschaft, Pflanzenschutz, Pflanzen- und Tierzüchtung. Im Bereich der Großchemie wird man dagegen noch einige Zeit warten müssen, bis mit der Biotechnologie und Gentechnik signifikante Durchbrüche erzielt werden. Am ehesten ist das im Bereich der Umwelt-Biotechnologie denkbar.

Die Situation der Biotechnologie in der Wissenschaft hat sich seit Anfang der 80er Jahre erheblich verbessert. Bei allen Disziplinen, bei denen der eingangs beschriebene Nachholbedarf bestand, insbesondere der Molekularbiologie und Gentechnik, sind inzwischen leistungsfähige Forschungskapazitäten erwachsen. Es hat sich wissenschaftlicher Nachwuchs gebildet, der in verantwortungsvolle Stellen in Wissenschaft und Wirtschaft strebt. Engpässe bestehen in der Wissenschaft durch enge Stellenpläne und nur langsame Umwidmung von Lehrstühlen in Richtung der biotechnologischen Disziplinen. Da die Industrie teilweise ins Ausland ausweicht, zieht sie junge Wissenschaftler nach. Einen gewissen Ausgleich zu dieser Situation bilden die sog.

Nachwuchsgruppen in Instituten der Universitäten und der Max-Planck-Gesellschaft, in denen sich junge Wissenschaftler auf einem selbst gewählten Gebiet in der Biotechnologie weiter qualifizieren können.

Neuere Gebiete der Biologie/Biotechnologie sind in der Bundesrepublik noch stark entwicklungsfähig, trotz einiger sehr hoffnungsvoller Ansätze und erfolgreicher Impulse, die vornehmlich von der schwerpunktmäßigen Unterstützung der DFG bzw. von der Max-Planck-Gesellschaft ausgehen. Besonders zukunftsträchtig erscheinen Gebiete wie die molekulare Neurobiologie, die in den USA, aber auch im europäischen Ausland stark expandiert. Steigende Bedeutung haben auch Gebiete wie Neurochemie, Neuroentwicklungsbiologie, Neurogenetik und Neuroimmunologie/ Neuroendokrinologie. Speziell hierzu ist von der Volkswagenstiftung ein Programm "Neuroimmunologie; Verhalten und Befinden" begonnen worden. Das Themenspektrum der oben genannten Gebiete reicht von der Erforschung der molekularen Struktur und Funktion der Elemente des Nervensystems (Zellmembranbestandteile, Transmitter, Neuromodulatoren etc.) über deren Interaktionen mit endokrinologischen und immunologischen Vorgängen bis hin zu Fragen der neuronalen Selbstorganisation, der neuronalen Plastizität, der Degeneration und der Regeneration aber auch des Alterns.

Die Situation der biotechnischen Forschung und betroffenen Wirtschaftssektoren im Innovationsprozeß ist zudem gekennzeichnet durch althergebrachte Barrieren zwischen den Stufen des Innovationsprozesses. Das trifft z. B. zu auf den Know-how-Transfer zwischen den Forschungseinrichtungen und den industriellen Forschergruppen, aber auch auf die Kommunikation und Zusammenarbeit innerhalb der verschiedenen Bereiche in der Wirtschaft. Neben anderem hat die Forschungsförderung durch die Bundesregierung in der zurückliegenden Programmphase versucht, gerade an diesen Schnittstellenproblemen gezielt anzusetzen. Der Transfer konnte in zahlreichen Bereichen durch industrielle Verbundforschung, aber auch durch die intensive Kooperation und Mitfinanzierung durch die Industrie bei Schwerpunktprojekten (Genzentren, Bioverfahrenstechnik, Pflanzenzüchtung, Nachwachsende Rohstoffe) verbessert werden.

Die Bemühungen für einen verbesserten Transfer werden dadurch erschwert, daß im internationalen Vergleich zahlreiche bereits bestehende Firmen in der Bundesrepublik Deutschland erst relativ spät in den Innovationsprozeß eingestiegen sind. Daneben haben jedoch auch einzelne völlig neuartige Firmengründungen zu einem zwar spezialisierten, aber doch beschleunigten Aufgreifen einzelner Produktionslinien geführt. Zahlreiche mittelständische Unternehmen haben die indirekt-spezifische Förderung mit BMFT-Projektmitteln in Anspruch genommen und biotechnische Entwicklungs- und Produktionskapazität aufgebaut. Zu den beteiligten Wirtschaftszweigen zählen u.a.:

- Feinmechanik, Optik
- Pflanzenzucht- und Gartenbau
- Nahrungs- und Genußmittel

- Elektrotechnik
- Apparate- und Anlagenbau
- Chemische und pharmazeutische Industrie.

Die Situation der biotechnologischen Forschung und Industrie bietet heute noch weitaus mehr Ansätze für eine wirksame Durchführung des Biotechnologieprogramms als vor wenigen Jahren. Über die künftige Entwicklung hat die OECD eine Prognose abgegeben (s. Abb. 12), die sich auf unterschiedliche Szenarien abstützt.

5. Bilanz der bisherigen Biotechnologieförderung und Erfahrungen

Die Bundesrepublik Deutschland hat als wahrscheinlich erstes Land der Welt ein nationales Biotechnologie-Programm bereits in den siebziger Jahren begonnen: auf der Basis der Ergebnisse einer Expertengruppe im Jahre 1974 erschien eine Biotechnologie-Studie, die wiederum wegweisend für die BMFT-Förderung der Biotechnologie vor 1980 wurde. Inhalte waren Auswahl- und Testmethoden für industrielle Mikroorganismen, Großfermentationen von pflanzlichen und tierischen Zellkulturen, Bioverfahrens- und Bioprozeßtechnik, Aufarbeitungsverfahren und biologische Abwasserbehandlung. Besonders "SCP" (Single Cell Protein, Einzellerprotein) war Leitprodukt für die biotechnische Entwicklung in den siebziger Jahren.

Die knappe finanzielle Ausstattung des Programms mit öffentlichen Mitteln, trotz einer eigens für die überregionale Forschung und Entwicklung gegründeten Großforschungseinrichtung (GBF) auf dem Gebiet der Biotechnologie und weiterer Biotechnologie-Aktivitäten in anderen Großforschungseinrichtungen (z. B. IBT/KFA), ferner die äußerst zurückhaltende Mitarbeit der die biotechnischen Methoden und Verfahren einsetzenden Industrie und der eklatante Personalmangel an in den neuen biologischen Methoden und Verfahren ausgebildeten Wissenschaftlern ließen Erfolge nur punktuell zu. Das Fehlen der neuen Methodik, wie Molekularbiologie und insbesondere die Gentechnik, führten dazu, die Bundesrepublik Deutschland als "gentechnisches Flachland" zu bezeichnen. Die Folge war, daß die allmählich auf die Bedeutung der Biotechnologie und Gentechnik, insbesondere im Pharmabereich, aufmerksam werdende Industrie auf Forschungspotentiale im Ausland, vorwiegend in USA, zurückgriff.

Gute Forschungs- und Entwicklungskapazitäten im Bereich der universitären und außeruniversitären Forschung auf den Gebieten kleiner Bioreaktoren und der Bioverfahrens- sowie Bioprozeßtechnik ließen mangels vorhandener mikrobiologischer Produktlinien Durchbrüche für die Biotechnologie nicht zu. Eine gewisse Verkrustung der Forschungslandschaft Ende der siebziger Jahre führte zu dem Vorwurf der Bürokratisierung der Forschung, die insbesondere der sehr flexible Forschungsstrukturen erfordernden Biotechnologie abträglich war.

Vor diesem Hintergrund und in Anbetracht weltweiter Entwicklungstendenzen in der Biotechnologie und Gentechnik, vor allem in den USA und in Japan, wurden Anfang der achtziger Jahre im BMFT die Forschungsstrukturen für die Biotechnologie gründ-

lich überdacht und gemeinsam mit Wissenschaft und Wirtschaft neue Ansätze und Wege zu ihrer effizienten Förderung gesucht. Ergebnis der Überlegungen war ein Konzept zur Neustrukturierung der biologisch/biotechnischen Forschungslandschaft, das bei steigenden Haushaltsansätzen (innerhalb der ersten fünf bis sieben Jahre jeweils Verdoppelung der Finanzmittel innerhalb von fünf Jahren (Abb. 20)) eine Entwicklung zuließ, die der Biotechnologie der Bundesrepublik Deutschland wieder einen Platz in den vordersten Rängen unter den Industriestaaten sichert. Entsprechend der Erhöhung der BMFT-Mittel für die Biotechnologie haben sich die Finanzansätze für die biologisch/biomedizinische Grundlagenforschung der Deutschen Forschungsgemeinschaft und der Max-Planck-Gesellschaft auf jeweils rund 400 Mio. DM ebenfalls erhöht.

Die öffentliche Förderung hat dazu beigetragen, daß sich insbesondere seit 1982 (OECD-Bericht, 1988) eine vielfältige und qualifizierte Forschung in der Bundesre-

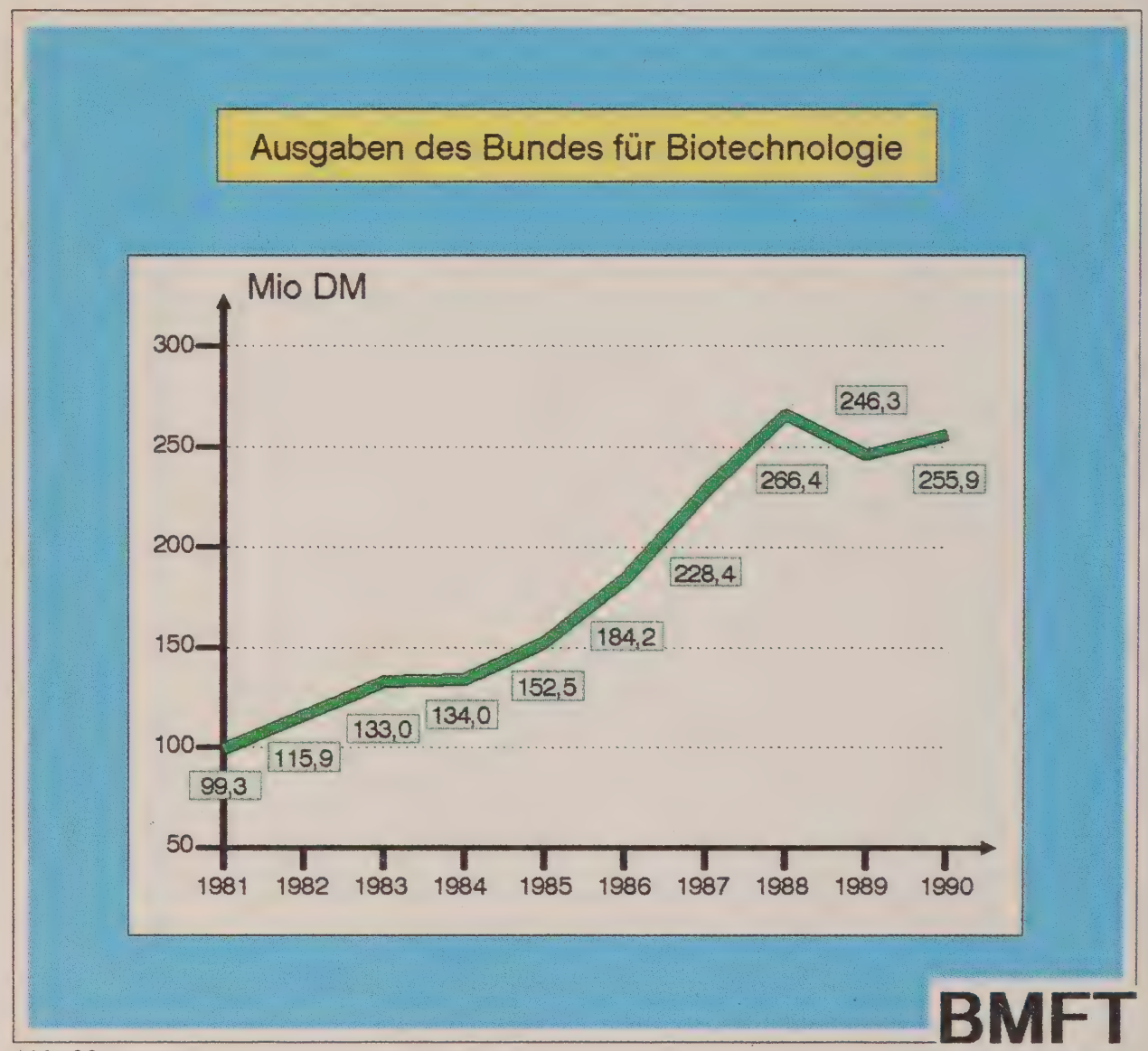
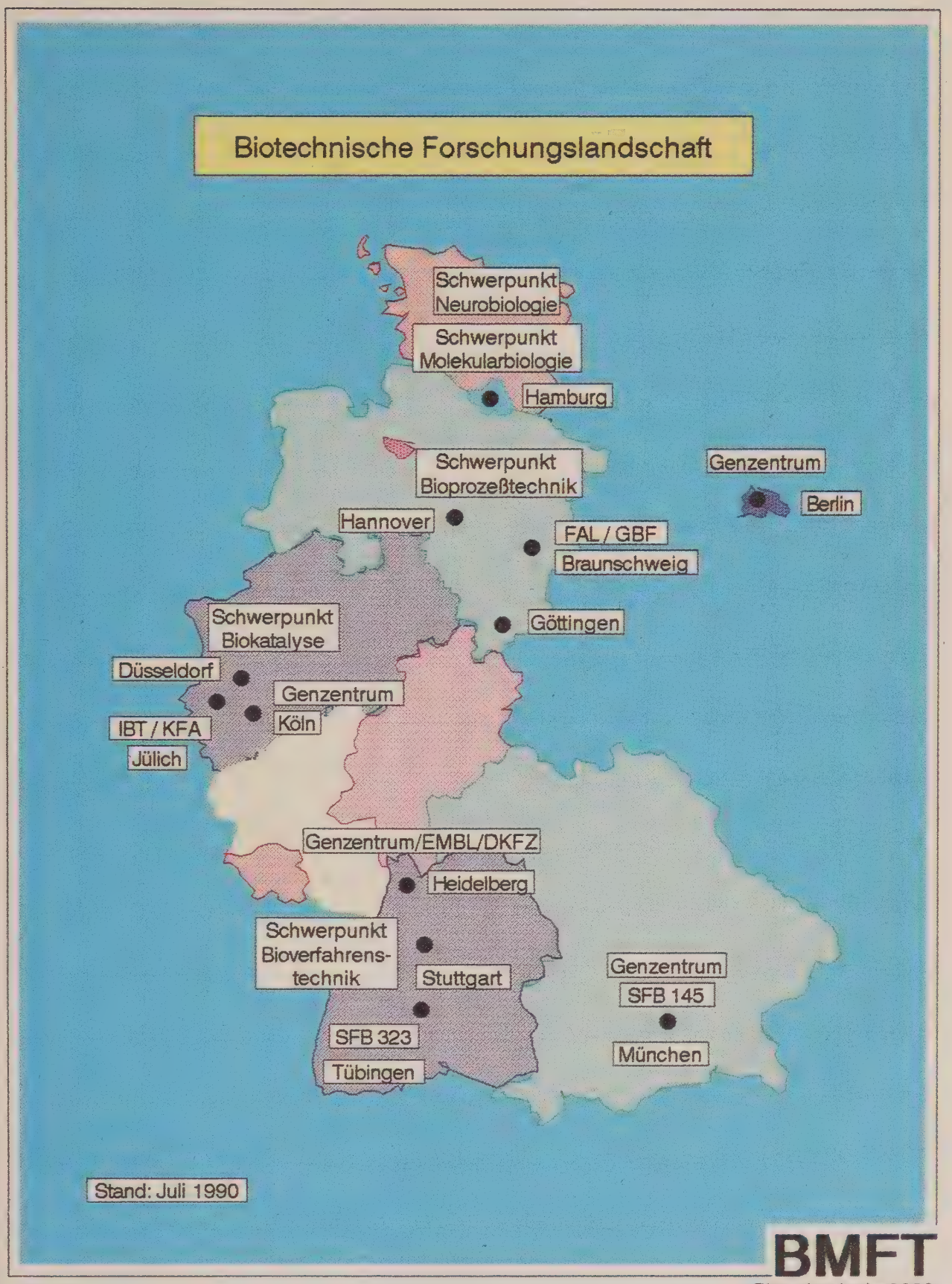


Abb. 20



BMFT
Biotechnologie 2000

Abb. 21

publik Deutschland in den Hochschulen, Forschungseinrichtungen des Bundes, privaten Forschungsinstitutionen und in der Industrie aufbauen konnte (Abb. 21). Wesentliche Erfolge der Programmdurchführung liegen bei strukturellen Verbesserungen in der Forschung, wie die durch BMFT angeregte Gründung wissenschaftlich/technisch orientierter Zentren gemeinsam durch Universitäten, Max-Planck-Gesellschaft, Fraunhofer-Gesellschaft und Wirtschaft.

Die Gesellschaft für Biotechnologische Forschung mbH (GBF) in Braunschweig wurde reorganisiert. Sie wurde strukturell, personell und in ihrer Organisation an die Erfordernisse einer qualitativ hochstehenden Großforschungseinrichtung auf dem Gebiet der Biotechnologie herangeführt. Mit den Genzentren in Berlin, Heidelberg, Köln und München und weiteren Schwerpunktprojekten haben sich nationale Knotenpunkte der modernen biologisch/biotechnischen Forschung gebildet. In ihnen wurden Schwerpunktgebiete aufgegriffen, in denen Forschungskapazitäten aufzubauen und Nachwuchswissenschaftler heranzubilden waren. Neben dem Gebiet Gentechnik betraf dies die Gebiete Molekularbiologie, Neurobiologie, Biokatalyse, Bioprozeßtechnik und Bioverfahrenstechnik. In den Jahren 1985-1990 hat die Industrie zur Unterstützung der Forschungsarbeiten in der GBF und in den Schwerpunktprojekten über ihre Fördervereine etwa 25 Mio. DM an Spenden bereitgestellt.

Diese Erfolge sind auch Ergebnis eines wirkungsvollen Zusammenspiels des BMFT mit anderen Institutionen der Forschungsförderung, wie den für die Hochschulförderung zuständigen Länderministerien, der Deutschen Forschungsgemeinschaft und dem Fonds der Chemischen Industrie sowie einzelnen, in Fördervereinen zusammengeschlossenen Unternehmen.

Gemeinsam mit 12 weiteren europäischen Staaten und mit Israel wurde das Europäische Laboratorium für Molekularbiologie (EMBL) in Heidelberg zu einem Spitzenforschungsinstitut entwickelt, vor allem auf den Gebieten biologische Strukturforschung und Zellbiologie sowie bei Datenbanken zu genetischen Informationen.

Seit Anfang der 80er Jahre konnte eine Spitzenstellung der deutschen Forschung auf den herausragenden Gebieten moderner biologischer Forschung, darunter Molekularbiologie, Zellbiologie, Gentechnik sowie anwendungsnahe Gebiete wie Pflanzenzüchtung, Entwicklung von Diagnostika/Therapeutika und apparative Instrumentierung zurückgewonnen werden.

Nebenbei wurden durch das Programm in Wissenschaft und Wirtschaft unmittelbar rd. 2200 Arbeitsstellen für eine durchschnittliche Projektlaufzeit von drei Jahren geschaffen, darunter 800 Arbeitsstellen für Akademiker zuzüglich 200 Stipendiaten. Allein in den Genzentren konnte beispielsweise die Zahl der auf dem Gebiet der Molekularbiologie tätigen Diplomanden und Doktoranden auf über 500 erhöht werden.

Besonders deutlich ist, daß sich die Biotechnologie noch am Anfang ihrer technischen Nutzungsmöglichkeiten befindet. Weltweit bekannte spektakuläre Einzelentwicklungen dürfen nicht darüber hinwegtäuschen, daß ihre Erfolge vornehmlich noch in einem breiten Voranschreiten des gesamten Forschungsgebietes liegen. Die Forschungsförderung ist insgesamt darauf angelegt, die Bedingungen so zu gestalten, daß die Bundesrepublik Deutschland als Industrieland international Anschluß auf einem so wichtigen Schlüsselgebiet behält.

Eine ausführliche Darstellung der Ergebnisse und Erfahrungen der Programmphase seit 1985 gibt der 1989 veröffentlichte Programmreport Biotechnologie, aus dem hier die wesentlichen Aspekte zusammengefaßt werden. Die Schwerpunkte der zurückliegenden Programmphase setzten gezielt beim Nachholbedarf an:

a) Anregung wissenschaftlich-technischer Spitzenleistungen

Die Förderung der Grundlagenforschung durch die Bundesländer sowie durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft und die Max-Planck-Gesellschaft wurde mit Projektmitteln verstärkt. Arbeitsgruppen wurden eingerichtet auf den Gebieten der molekularen Parasitologie, der Anwendung der Gentechnik im Bereich der biomedizinischen Grundlagenforschung, der Virologie und der Tumorforschung. Nachhaltig erweitert werden konnten zudem Forschungsaktivitäten zur Zellkultur- und Zellfusionstechnik bei Pflanzen-, Tier- und Hefezellen, der Enzymtechnik und der Proteinsynthese (Molecular Modelling) sowie der computergesteuerten Bioprozeßtechnik.

Eine neue Schwerpunktsetzung, verbunden mit einem längerfristigen Umorientierungsprozeß der wissenschaftlichen Forschung in den Grundlagenforschungsinstitutionen, konnte durch die Einrichtung von Schwerpunktprojekten beginnend auf dem Gebiet Gentechnik ("Genzentren") in der medizinischen Grundlagenforschung sowie in der Pflanzenzüchtung und gefolgt von Bioverfahrens- und Prozeßtechnik, Molekularbiologie, Neurobiologie und Biokatalyse erreicht werden. Institutionelle Träger dieser Forschung sind die Universitäten und die Max-Planck-Gesellschaft, deren Bemühungen um ein biowissenschaftlich/biotechnisches Forschungsprofil durch die BMFT-Maßnahmen wirkungsvoll unterstützt werden konnte.

Im Bereich der vom BMFT zu 90 % geförderten Großforschung auf dem Gebiet der Biotechnologie wurde die dort zu etwa 40 % der Etats betriebene Grundlagenforschung bei einer eingehenden Begutachtung der Forschungskapazitäten in Teilen bereits als hervorragend eingestuft. Andere Grundlagenforschungsaktivitäten wurden gestrafft und haben durch personelle und strukturelle Reorganisation wieder einen international konkurrenzfähigen Standard. Die Grundlagenforschung konzentriert sich auf zelluläre Wirkstoffe für die Medizin, Mikrobiologie, Enzymtechnologie und Bioverfahrenstechnik.

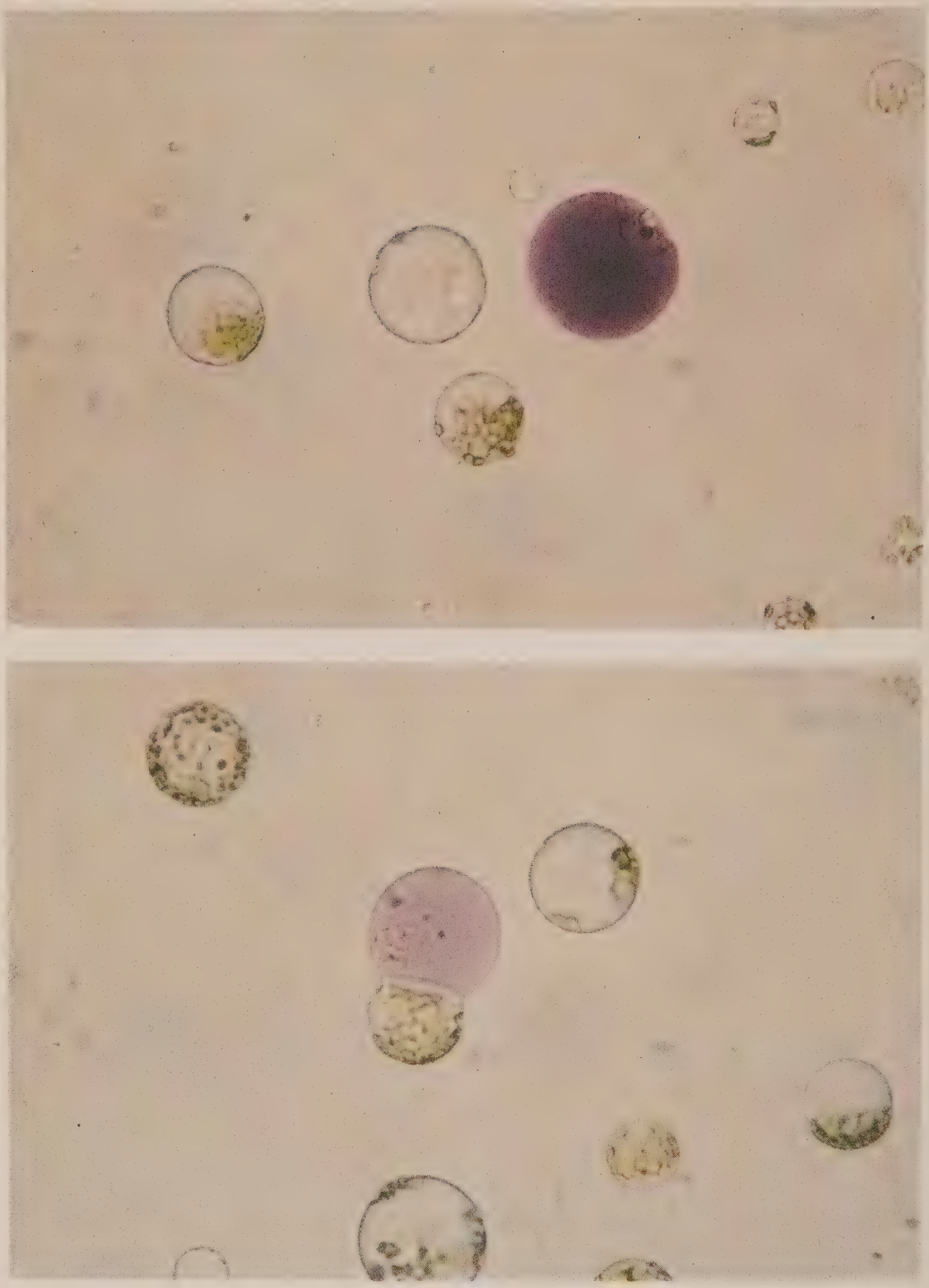


Abb. 22: Eigenschaftsübertragung durch Zellfusion

Die Fördermaßnahmen zur Anregung wissenschaftlich-technischer Spitzenleistungen wurden ergänzt durch die Aktivitäten zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses (s. Abs. e)).

In der Grundlagenforschung ist die Strukturaufklärung eines Gens gelungen, das im Zusammenhang mit der Aufklärung der Alzheimer'schen Krankheit von größter Bedeutung ist. Grundlagenforschung brachte die Voraussetzungen für die Erforschung neuartiger Arzneimittel oder Therapieverfahren gegen bisher nur schwer zu behandelnde Krankheiten (z.B. Hepatitis, Malaria).

In der Tumorbiologie wurde ein Wirkstoff entwickelt, der die toxischen Nebenwirkungen bei der Chemotherapie von Krebs herabsetzt und damit eine effizientere Dosierung von Zytostatika erlaubt. In Essen und Freiburg wurde jeweils eine Tumorbank menschlicher Tumore angelegt, um ein Spektrum unterschiedlichster Tumore zur Testung, besonders zur Untersuchung von Späteffekten zur Verfügung zu haben.

b) Verbesserung der Innovationsvoraussetzungen in der Industrie

Die unter Abs. a) beschriebene Stärkung der Grundlagenforschung bildet das wissenschaftliche Umfeld der Industrieforschung und gleichzeitig die technologische Basis für künftige wirtschaftliche Entwicklungen. Hauptanliegen des Biotechnologieprogramms war und ist es auch weiterhin, die wissenschaftliche Grundlagenforschung und die industrielle Forschung und Entwicklung stärker zu verzahnen. Hierdurch können Impulse aus der Grundlagenforschung in einem frühen Stadium von der Industrie für die technologische Weiterentwicklung aufgegriffen und umgesetzt werden.

Die GBF ist durch gemeinsame Forschungsvorhaben und Auftragsforschung mit industriellen Partnern verknüpft, besonders mit der mittelständischen Industrie, die über keine oder nur geringe eigene Forschungskapazitäten verfügt. Hervorzuheben ist die Entwicklung eines Zellkulturreaktors für tierische Zellkulturen gemeinsam mit einem mittelständischen Wirtschaftsunternehmen. Der Reaktor findet inzwischen auch in größeren Unternehmen beim Einsatz von Zellkulturen Verwendung.

Die Einrichtung der Schwerpunktprojekte (Genzentren u.a.) erfolgte gemeinsam mit der Industrie. Auf dem Personaltransfer aus den Schwerpunkten in die industrielle Forschung basiert der Technologie- und Know-how-Transfer von der Wissenschaft in die Industrie. In (größeren) Industrieunternehmen wurden entsprechende Forschungskapazitäten ausgebaut.

Kleinere Unternehmen schließen sich teilweise in Gemeinschaften zum Betrieb gemeinsamer Forschungs- und Entwicklungslabors zusammen. Dies ist in beispielhafter Weise auf dem Gebiet der Pflanzenzüchtung geschehen.

In der BMFT-Projektförderung wird der industriellen Verbundforschung Priorität eingeräumt. So ist es gelungen, die Zusammenarbeit von wissenschaftlichen Instituten

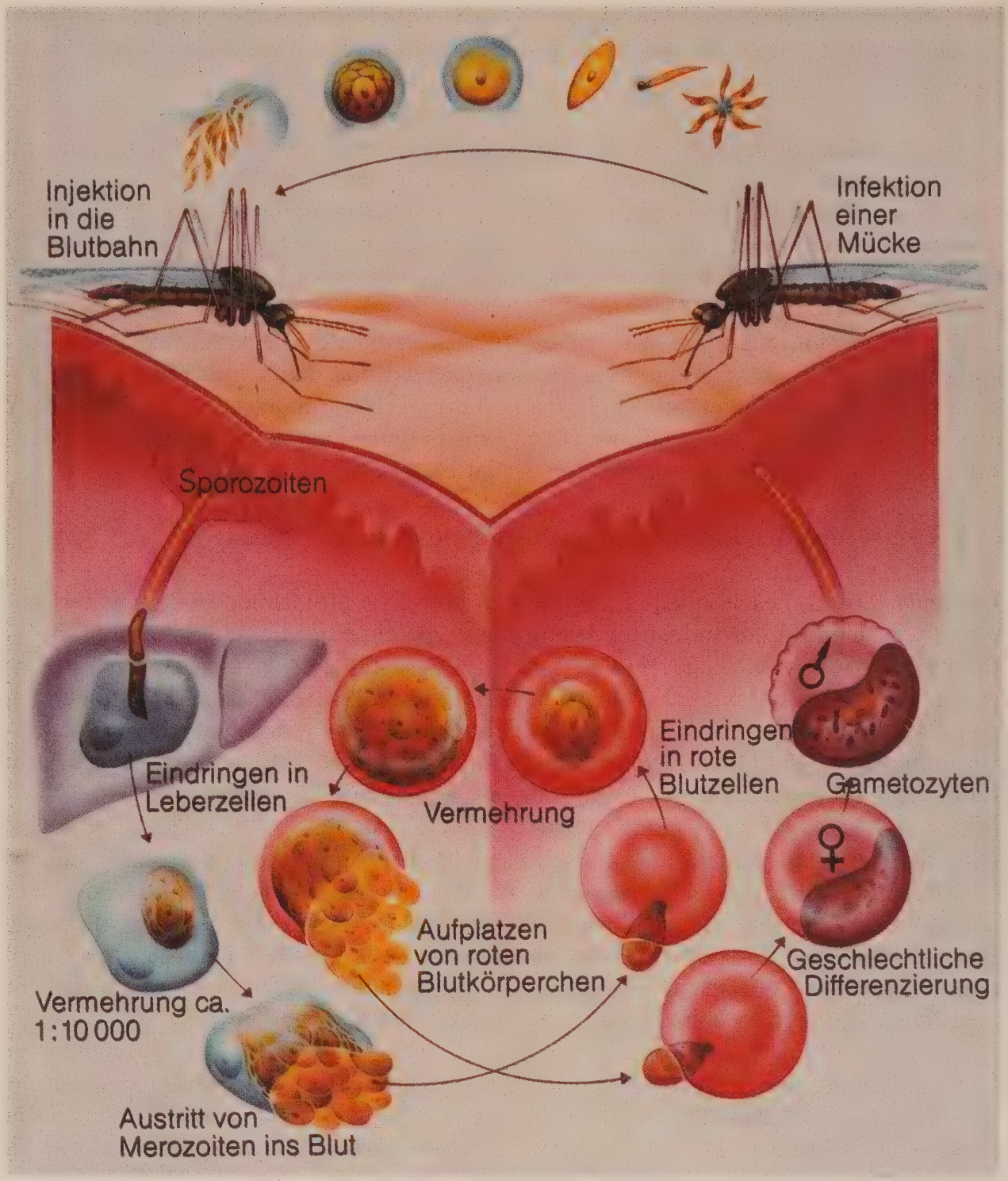


Abb. 23: Lebenszyklus des Malaria-Erregers Plasmodium falciparum
Der Lebenszyklus des tropischen Malariaerregers Plasmodium falciparum umfaßt drei Entwicklungsstadien, in denen sich der Parasit jeweils wesentlich morphologisch verändert. Im Invasionsstadium gelangt der Erreger nach dem Stich der Anopheles-Mücke in Gestalt des Sporozoiten über das Blut in die Leber. Hier beginnt der erste Teilungsvorgang. Im zweiten Stadium befällt der Parasit dieBlutkörperchen und verwandelt sich in den Merozoiten. In diesem Stadium läuft der entscheidende Ausbreitungs- und Zerstörungsprozeß ab. Im dritten Stadium entstehen die Geschlechtszellen, die Gametozyten, die bei einem erneuten Stich der Anopheles-Mücke wieder mit dem Blut aufgesaugt werden. Jedes Stadium ist also zugleich eine Phase des tödlichen Kreislaufs der Malariaübertragung.

und industrieller Forschung bis auf wenige ausgenommene Bereiche (Sicherheitsforschung, Ersatzmethoden zum Tierversuch) überwiegend in gemeinschaftlichen Verbundprojekten zu organisieren. Die Einzelprojektförderung ist demgegenüber seit 1982 deutlich in den Hintergrund getreten.

Ein besonders auf den Mittelstand zugeschnittenes Teilprogramm hat die Eigenkräfte der Unternehmen besonders gestärkt, indem durch indirekte Fördermaßnahmen Hilfestellung bei der Einführung moderner biotechnischer Methoden in die Produktion ge-

Abb. 24: In-vitro-Vermehrung von Cuphea

Fettsäurezusammensetzung (in %) des Samenöls verschiedener Cuphea-Arten

Art	8:0	10:0	12:0	14:0	16:0	18:1	18:2
C.racemosa	-	-	0,1	0,2	15,3	17,4	58,8
C.palustris	19,7	1,4	2,0	63,7	6,7	3,0	2,9
C.lobophora	-	10,9	66,2	13,1	2,4	2,9	3,9
C.ignea	0,9	87,1	1,2	0,6	3,1	2,9	4,1
C.painteri	65,0	24,0	0,2	0,4	2,8	3,3	3,9

Abb. 25

geben und finanzielle Risiken beim Einstieg in die Anwendung dieser Technologie vermindert wurden. Die Anwendung der Biotechnologie in den Unternehmen war besonders groß im Bereich der Bioverfahrenstechnik (z. B. umweltbiologische Verfahren für die Bodensanierung, Umweltanalytik), der Pflanzenzüchtung und der Zellkulturtechnik.

Eine Verbesserung der Rahmenbedingungen für Innovationen wurde durch die Beteiligung von 220 Firmen an der Verbundforschung zwischen Industrie und Forschungsinstituten und an den indirekt-spezifischen Fördermaßnahmen auf den

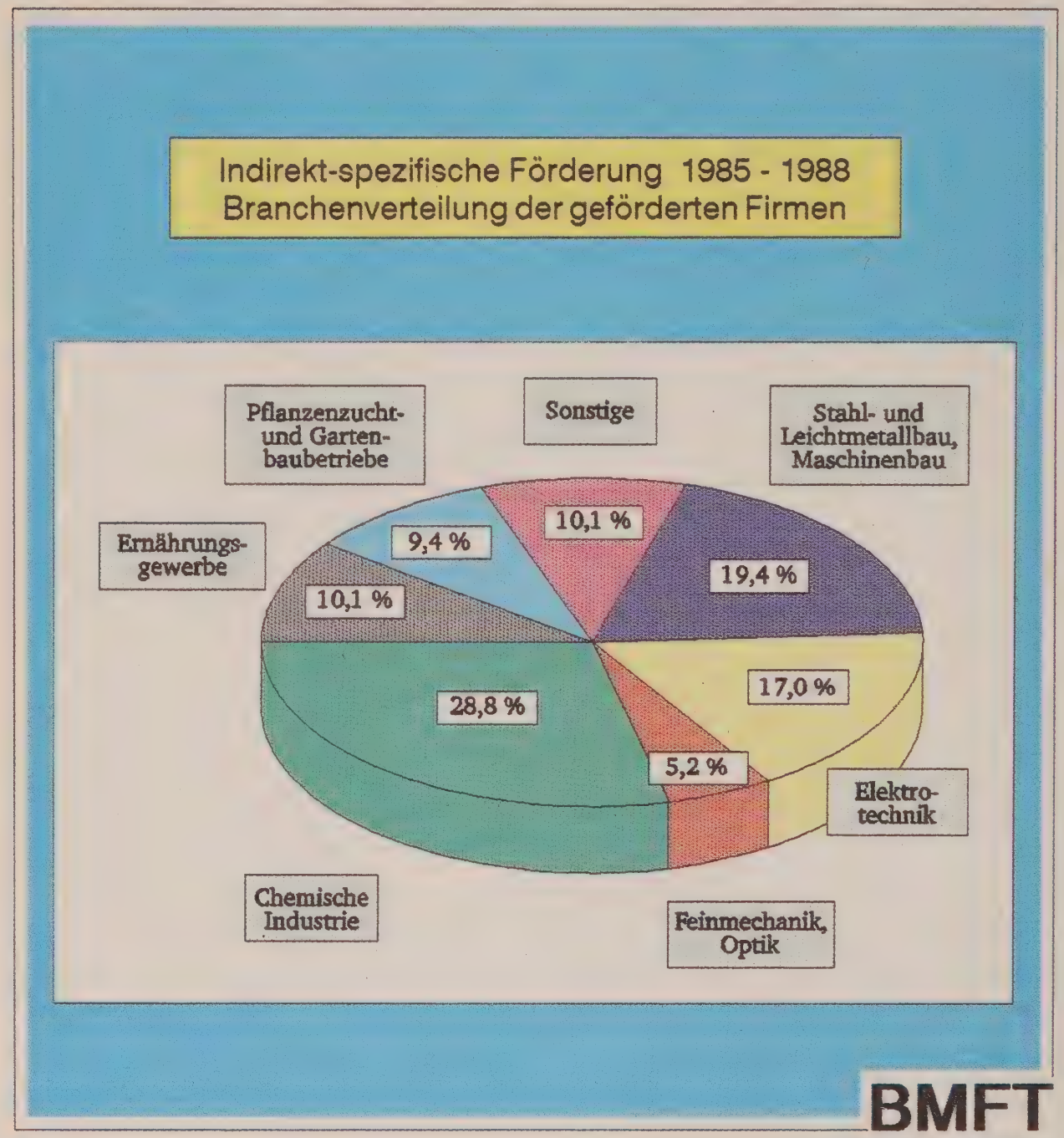


Abb. 26

Biotechnologie 2000

Arbeitsgebieten der Biotechnologie erreicht, wie beispielsweise Umwelt-Biotechnologie, Pflanzenzüchtung oder methodische und verfahrenstechnische Entwicklungen. Die besonders hohe Beteiligung von 85 % kleiner und mittlerer Unternehmen (KMU; Umsatz kleiner als 200 Mio. DM, weniger als 1000 Mitarbeiter) ist im indirekt-spezifischen Teil des Förderprogramms festzustellen; dies bedeutet eine wirksame Hilfe zur Selbsthilfe für die mittelständische Wirtschaft. Die Förderung zeigt auch einen hohen Mobilisierungseffekt: Bei 25 % der geförderten Unternehmen waren zuvor biotechnische Methoden in der Produktion oder Verfahrenstechnik noch nicht eingesetzt worden. Ein hoher Anteil der geförderten Unternehmen ist auch noch relativ jung: Et-

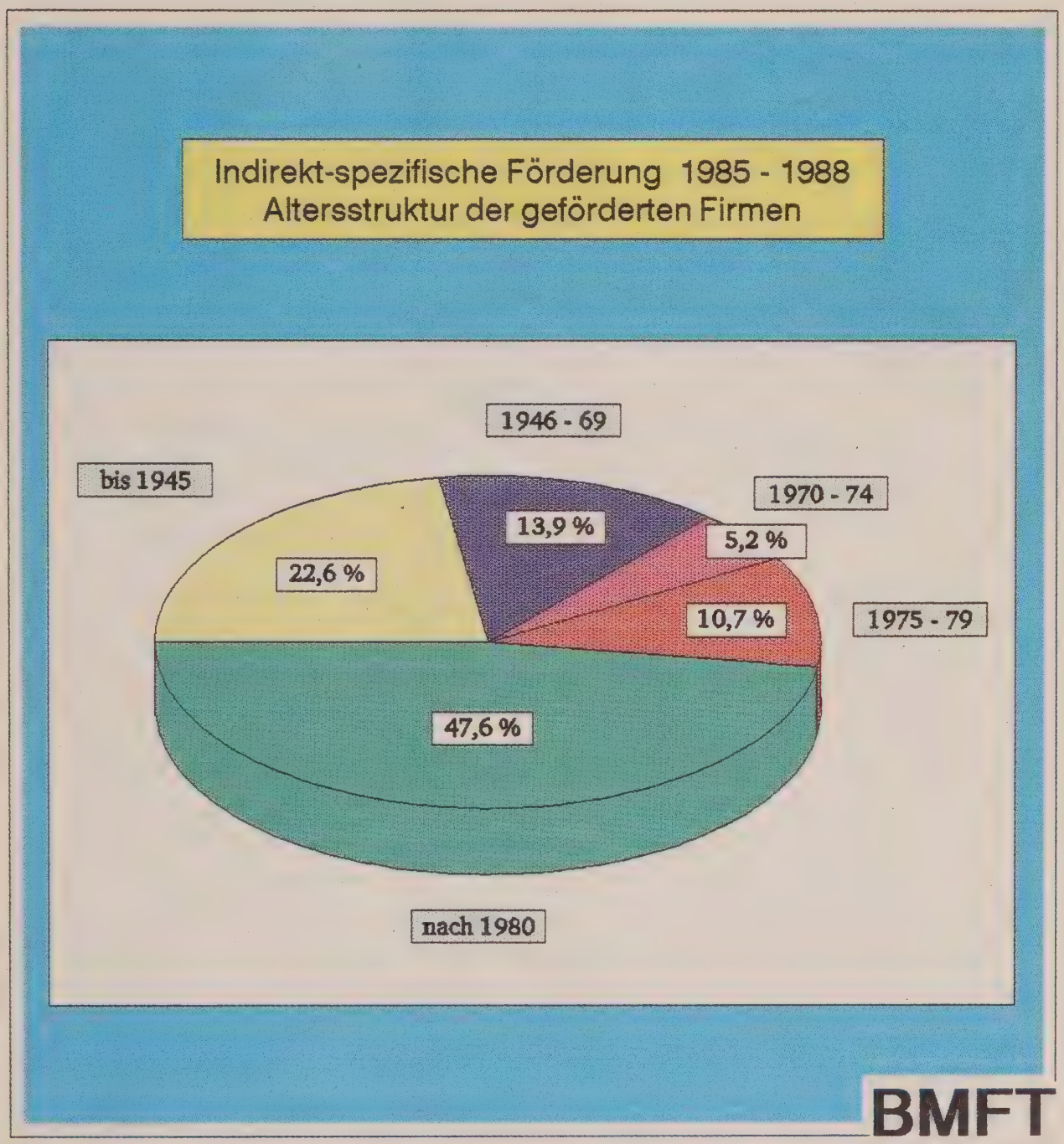


Abb. 27

wa 48 % der geförderten Unternehmen wurden erst nach 1980 gegründet, darunter 34 mit Hilfe der Fördermaßnahme für technologie-orientierte Unternehmensgründungen des BMFT.

c) Innovationen im Umwelt- und Vorsorgebereich

Die neuen Biotechniken finden Anwendung bei einer Vielzahl von Problemlösungen im Umweltbereich. Lösungen können heute angeboten werden für die biologische Abluftreinigung, zur biologischen Klärung von kommunalen und industriellen Abwässern sowie zur Entsorgung verunreinigter Böden. Auf diesen Gebieten sind besonders viele mittelständische Unternehmen tätig geworden. Andererseits werden durch die Entwicklung umweltfreundlicher Produktionsprozesse auf der Basis biotechnologischer Verfahren von vornherein Umweltbelastungen verringert oder ganz vermieden. Moderne biologische Techniken, insbesondere die Gentechnik, sind weiter entwickelt worden und erlauben eine gezieltere medizinische Forschung über die Entstehung und das Wesen von Krankheit. Untersuchungen über die Ursachen von Krebs und AIDS, über die Entwicklung von neuen Impfstoffen sowie über moderne Diagnostik- und Therapiemethoden sind in der biologisch-medizinischen Forschung angelaufen. Für den Bereich der Ernährung und Landwirtschaft sind neue Ansätze für die Pflanzenzüchtung, auch zur industriellen Verwendung der pflanzlichen Agrarproduktion, neue Ansätze für die industrielle Umwandlung und für die Entsorgung von pflanzlichen Rückständen oder aus industriellen Umwandlungsprozessen initiiert worden.

Es ist Wissenschaftlern gelungen, Abbauwege mit Hilfe modifizierter Mikroorganismen für bestimmte, den sehr giftigen Dioxinarten ähnliche Modellsubstanzen zu finden; dies ist ein erster Schritt zur späteren Entwicklung von Sanierungsverfahren für hochbelastete Böden und Deponien.

Chancen für die Pflanzenzüchtung und den Pflanzenschutz ergeben sich aus Untersuchungen über die Mechanismen, wie Pflanzen dem Befall von Pilzkrankheiten widerstehen. Hierzu gehören auch die Entwicklung von biotechnischen Methoden der Pflanzenzüchtung, wie Zellfusion, Gentransfer und Zell- oder Gewebekulturtechnik, um Züchtungszeiten, die bislang zwischen 10 und 20 Jahren liegen, auf vielleicht 6 bis 10 Jahre zu verkürzen. Auch ist es heute möglich, Gene über Artgrenzen hinaus zu übertragen. Damit erhalten Pflanzen bisher nicht vorhandene Fähigkeiten zur qualitativ hochstehenden und gefragten Stoffproduktion (z.B. hochwertige Eiweisse, Kohlenhydrate, wegen ihren Eigenschaften besonders nachgefragte Öle und Fette). Auf diesem Wege soll es ermöglicht werden, für eine wachsende Weltbevölkerung ausreichend Nahrung und für die Industrie erneuerbare Rohstoffe bereitzustellen.

d) Technologiefolgenabschätzung und Verantwortung der Wissenschaft

Die Begleitung der Forschungsförderung zur Klärung der ethischen und sozialen Implikationen erfolgte durch entsprechende Forschungsaufträge und Veranstaltungen,

z.T. in internationalem Rahmen. Zunächst waren Hürden im Bewußtsein der Wissenschaftler gegenüber diesen Fragestellungen und Disziplingrenzen bei der Bearbeitung zu nehmen. Entsprechende Maßnahmen werden ausführlich unter 3. Rahmenbedingungen in diesem Kapitel beschrieben.

Im Programmschwerpunkt Sicherheitsforschung konnte eine Reihe von Forschungsprojekten über den gefahrlosen Umgang mit biologischem Material auf den Weg gebracht werden. Es wurde der Anstoß zur Einrichtung einer Forschungs- und Prüfstelle für Freilandexperimente bei der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft in Braunschweig gegeben; Forschungsprojekte über die möglichen Gefahren beim Einsatz resistenter Pflanzen, zur Bewertung der Freisetzung gentechnisch veränderter Organismen in die Umwelt und zum Gentransfer von modifizierten Mikroorganismen im Boden einschließlich Auswirkungen auf das Grundwasser wurden aufgegriffen. Ein verstärkter Erfahrungsaustausch auf internationaler Ebene soll zu einer einheitlichen Bewertung von Risiken und zur Harmonisierung von Maßnahmen führen.

Ein steigendes Verantwortungsbewußtsein gegenüber dem Einsatz von Tierversuchen ist im Rahmen der Förderung von Ersatzmethoden zu beobachten. Für den Ersatz von Tierversuchen wurden In-vitro-Testmethoden auf der Basis glatter Muskelzellkulturen aus Arterienwänden zur Untersuchung von Substanzen gegen Arteriosklerose entwickelt, ferner der Einsatz von Nervenzellen zur Testung von neuen Substanzen verfolgt. Es wurden isolierte Leberzellen eingesetzt, um die Aktivität von Arzneistoffen zu bestimmen, modellhaft Zellen der Magenschleimhaut verwendet, um die Abhängigkeit der Produktion von Magensäure von pharmakologisch aktiven Substanzen zu ermitteln und In-vitro-Methoden für den Fiebertest auf der Basis von synthetischen Peptiden erprobt.

e) Nachwuchsförderung

Eine breite Palette ineinandergreifender Maßnahmen zur Nachwuchsförderung hat dazu beigetragen, besonders dem personellen Nachholbedarf abzuhelfen. Mittel zur Förderung von Auslandaufenthalten und spezielle Sachmittel sind gezielt an den wissenschaftlichen Nachwuchs gerichtet worden. Als Anreiz, interdisziplinäre biotechnische Fragestellungen aufzugreifen, wurden Stipendien an Doktoranden und Postdoktoranden vergeben. Nachwuchsgruppenlabors bieten jungen Wissenschaftlern die Möglichkeit, an Zentren der biowissenschaftlichen Spitzenforschung auf begrenzte Zeit eigenständig zu arbeiten, um sich für führende Positionen in der Wissenschaft und Wirtschaft zu qualifizieren.

III. PROGRAMMSCHWERPUNKTE

Themen der angewandten Biologie und Biotechnologie, für die ein besonderer Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht, werden nachfolgend beschrieben (Abb. 28). Es handelt sich dabei um Gebiete, die ein hohes Innovationspotential erwarten lassen. Zu diesen Programmschwerpunkten gehören einerseits verschiedene Methoden- und Verfahrensentwicklungen, die wichtige Grundlagen für die Fortschritte in der Biotechnologie bilden; andererseits werden Anwendungsfelder der biologischen/biotechnischen Forschung genannt, bei denen unter Einsatz des Methodenspektrums spezifische Fragen bearbeitet werden und bei denen die Nutzung der Biotechnologie an konkreten Beispielen im Vordergrund steht.

Um dem Programmrahmen die erforderliche Flexibilität zu verleihen, können in begründeten Fällen daneben auch Vorhaben aus anderen, aussichtsreichen Gebieten der Biologie und Biotechnologie gefördert werden. Eine Nennung einzelner Projekte erfolgt nicht, von Ausnahmen abgesehen: die Projektdefinition ist originäre Aufgabe der Forschungspartner aus Unternehmen, universitären und außeruniversitären Forschungseinrichtungen. Innerhalb der Programmschwerpunkte werden kurzfristigere Zielsetzungen in Förderkonzepten und Ausschreibungen weiter konkretisiert.

Die finanzielle Unterstützung erfolgt durch institutionelle Förderung (Großforschungseinrichtungen, Bundesforschungsanstalten) und durch BMFT-Projektförderung. Fördermodell der Projektförderung ist grundsätzlich die Verbundforschung, bei der Forschungsinstitutionen und Unternehmen zielgerichtet und arbeitsteilig zusammenwirken. Dadurch wird ein hoher Wirkungsgrad der eingesetzten Personal- und Sachmittel gesichert, der Know-how- und Technologietransfer erleichtert und eine anwendungs- und problemorientierte Forschung und Entwicklung sichergestellt. Gleichzeitig erfolgt durch eine Konzentration der staatlichen Fördermittel auf bestimmte Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte ihr möglichst effektiver Einsatz. Die Beteiligung von Wirtschaftsunternehmen kann unterschiedlich sein, von der Unterstützung durch Startfinanzierung und Gründung von Fördervereinen (z.B. bei Schwerpunktprojekten), der materiellen Beteiligung durch Bereitstellen von Forschungskapazitäten (z.B. Personal, Labor- oder Technikumskapazität, Gewächshaus- oder Feldversuchsflächen usw.) bis hin zur gemeinsamen Finanzierung des Verbundforschungsvorhabens.

Grundsätzlich wird eine stärkere Zusammenarbeit von öffentlicher und industrieller Forschung angestrebt. Zusätzlich sind spezifische Maßnahmen zur Verstärkung der Beteiligung von kleinen und mittleren Unternehmen vorgesehen. Eine Kumulierung der Vorhabenförderung mit anderen nationalen oder entsprechenden EG-Programmen ist grundsätzlich ausgeschlossen.

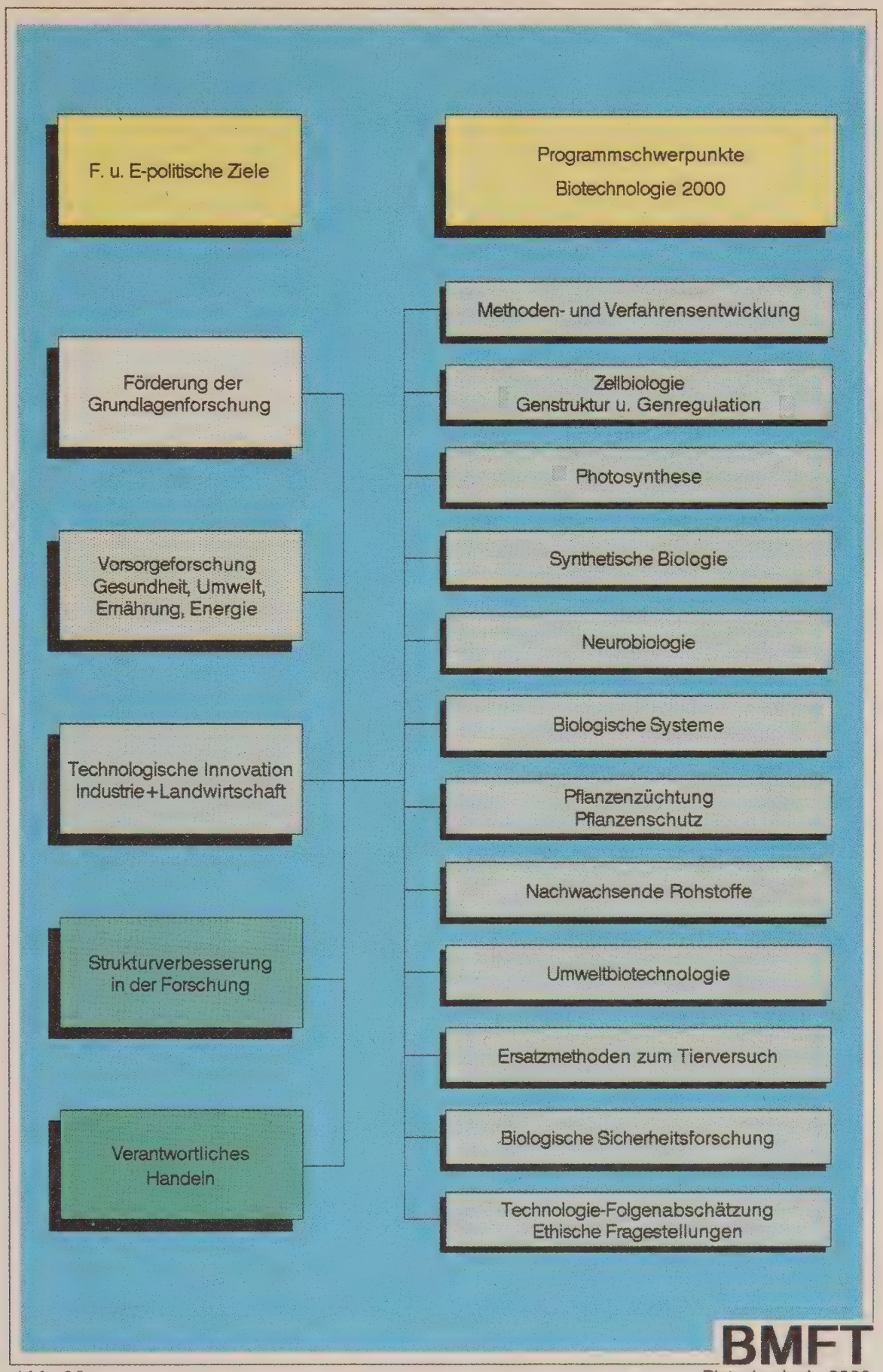

F. u. E-politische Ziele
Programmschwerpunkte
Biotechnologie 2000
Förderung der Grundlagenforschung
Vorsorgeforschung Gesundheit, Umwelt, Ernährung, Energie
Technologische Innovation Industrie+Landwirtschaft
Strukturverbesserung in der Forschung
Verantwortliches Handeln
Methoden- und Verfahrensentwicklung
Zellbiologie Genstruktur u. Genregulation
Photosynthese
Synthetische Biologie
Neurobiologie
Biologische Systeme
Pflanzenzüchtung Pflanzenschutz
Nachwachsende Rohstoffe
Umweltbiotechnologie
Ersatzmethoden zum Tierversuch
Biologische Sicherheitsforschung
Technologie-Folgenabschätzung Ethische Fragestellungen
BMFT
Biotechnologie 2000

Abb. 28

1. Methoden- und Verfahrensentwicklung

In der Biotechnologie ist die Entwicklung neuer Methoden und Verfahren eine spezifische Voraussetzung für Innovationssprünge in Grundlagenforschung und Anwendungen. Der enorme Erkenntniszuwachs der letzten Jahrzehnte in der Biologie und die Entwicklung der Biologie von einer beschreibenden Wissenschaft zu einer mehr und mehr wirtschaftlich nutzbaren Technologiebasis ist auf die neuen molekularbiologischen Techniken zurückzuführen. Die Kombination der klassischen Methoden der Mikrobiologie, der Zellkultur und der Wirkstoff-Findung mit den neuen Methoden erbringt ein zusätzliches, wertvolles Potential zur Entwicklung der Biotechnologie. Ohne die Gentechnik ist heute weder eine erfolgreiche Aufklärung von Krankheiten noch die Entwicklung von Diagnoseverfahren oder Heilmitteln zu ihrer Bekämpfung möglich. Der Bedarf im Bereich der Methoden- und Verfahrensentwicklung konzentriert sich auf die Weiterentwicklung der molekularbiologischen Methoden für eine breitere Anwendung und die Entwicklung neuer Methoden in der Mikrobiologie bei der Suche von Produktionsorganismen und Wirkstoffen. In der Bioverfahrensentwicklung liegt der Bedarf bei einer verbesserten Prozeßtechnik und einem vermehrten Einsatz von Biokatalysatoren (Enzyme) für chemische Umwandlungen. Biologische Methoden- und Verfahrensentwicklung sind zudem für neue Biosensoren erforderlich.

Molekularbiologische und mikrobiologische Methoden

Ein wesentlicher Aspekt der Biotechnologie ist die Produktion von Naturstoffen, z.B. Eiweißstoffen und anderen Stoffwechselprodukten (Aminosäuren, organische Säuren, Pflanzeninhaltsstoffe). Die *Molekularbiologie* bietet die Möglichkeit der Herstellung arteigener Produkte in höherer Ausbeute oder zur Herstellung artfremder Stoffe in verschiedensten Wirtsorganismen. Durch die Kombination beider Möglichkeiten lassen sich Stoffwechselwege in Mikroorganismen gestalten ("Metabolic Design"), die zu besseren Produkten oder Abbauwegen (z.B. für umweltbelastende Gefahrstoffe) führen. Bisher wurden als Produktionsorganismen insbesondere das Bakterium E.coli, aber auch bereits Säugerzellkulturen (z. B. bei der Interferonherstellung) genutzt. In Zukunft gewinnen neue *Expressionssysteme* für die Biotechnologie an Bedeutung, etwa bisher unbeachtete Bakterien, Hefen und andere niedere Pilze. Die spezifischen Eigenschaften dieser Organismen bieten eine breitere Palette von Stoffwechselwegen für spezielle Problemlösungen. Da bisher nur wenige Organismen in Großproduktionen eingesetzt werden, ist das Potential der bereits erfolgreich genutzten Expressionssysteme noch längst nicht ausgeschöpft. Das gilt besonders für Säugerzellkulturen. Mit ihnen lassen sich komplizierter aufgebaute, biologisch aktive Moleküle gewinnen, die körpereigenen Produkten entsprechen. Sie sind auf chemischem Wege nicht oder nur mit hohem Aufwand zu gewinnen und sind die Grundlage für neue Produktentwicklungen für Diagnostik und Therapie.

Der Einsatz molekularbiologischer Methoden erweitert zunehmend die Diagnostik im Bereich der Medizin, der Umwelt und im Nahrungsmittelsektor. Zum Beispiel erlauben synthetische DNA-Sonden sowie DNA-Amplifikationstechniken die Identifika-

tion und Isolierung spezifischer Abschnitte aus der Erbsubstanz, womit sich Viren, ansonsten schwer nachweisbare Mikroorganismen oder genetische Veränderungen nachweisen lassen. Für deren sichere und zuverlässige Anwendung ist die Steigerung der Nachweisempfindlichkeit und Selektivität von Sonden, die zudem nichtradioaktive Markierungen verwenden, ein wichtiges Entwicklungsziel. Auch die *Automatisierung* dieser *Analysemethoden*, sowie der *Synthese- und Sequenzierungstechniken* in der Molekularbiologie sind erforderlich, um die methodischen und apparativen Voraussetzungen für das Verständnis von Struktur und Funktion der Gene sowie ihrer Regulation zu erweitern.

Die Entwicklung neuer *mikrobiologischer Techniken* ist auch in Zukunft die Basis für neue Impulse in der Biotechnologie. Die Stoffwechselleistungen von Mikroorganismen sind die Grundlage für verfahrenstechnische Prozesse zur gezielten Nutzung des fast unerschöpflichen Synthesepotentials natürlicher biologischer Prozesse. Sie ermöglichen neue industrielle Anwendungen für die Herstellung, Umwandlung und den Abbau vieler Substanzen. Dazu bedarf es der Aufklärung von Stoffwechselwegen, Untersuchungen zum Wachstumsverhalten und zum Stofftransport. Ein besonderer Bedarf besteht für neue Methoden zur Stammoptimierung besonders unter Anwendung molekularbiologischer Techniken.

Auswahl- und Testverfahren für Mikroorganismen, pflanzliche und tierische Zellkulturen sowie für Wirkstoffe

Neben der Beeinflussung der Produktionsleistung von Organismen durch mikrobiologische und molekularbiologische Verfahren steht gleichberechtigt die Nutzung des natürlich verfügbaren Stoffwechselpotentials, insbesondere von Bakterien und Pilzen, aber auch von tierischen und pflanzlichen Zellkulturen. Hier besteht das Problem in der erfolgreichen Suche nach Stoffen mit Eigenschaften, für die ein Bedarf besteht. Die Entwicklung von geeigneten Auswahl- und Testverfahren (Screening) zur Erschließung der natürlichen Syntheseleistung verschiedener Organismen ist daher vordringlich.

Im Bereich der *Mikroorganismen* sind Methoden von besonderer Bedeutung, die die Isolierung und schnelle Charakterisierung von Organismen mit speziellen physiologischen und biochemischen Eigenschaften, z. B. aus Extrembiotopen (heiße oder stark salzhaltige Quellen) ermöglichen. Die Suche nach neuen Mikroorganismen, aber auch anderen Organismen mit ungewöhnlichen Syntheseleistungen ermöglicht die Erschließung *neuer Naturstoffe*. Hierbei liegt der Bedarf in der Entwicklung neuer biologischer Verfahren zur Identifizierung und Charakterisierung von Stoffwechselprodukten.

Das Screening von Naturstoffen hat eine lange Tradition und führte zu bedeutenden Produktentwicklungen, etwa den Antibiotika. Die Suche nach neuen Wirkstoffen und die damit verbundene Produktentwicklung ist in der Marktwirtschaft ureigene Aufgabe der Industrie. Um die technologische Basis hierfür zu verbreitern und einem größe-

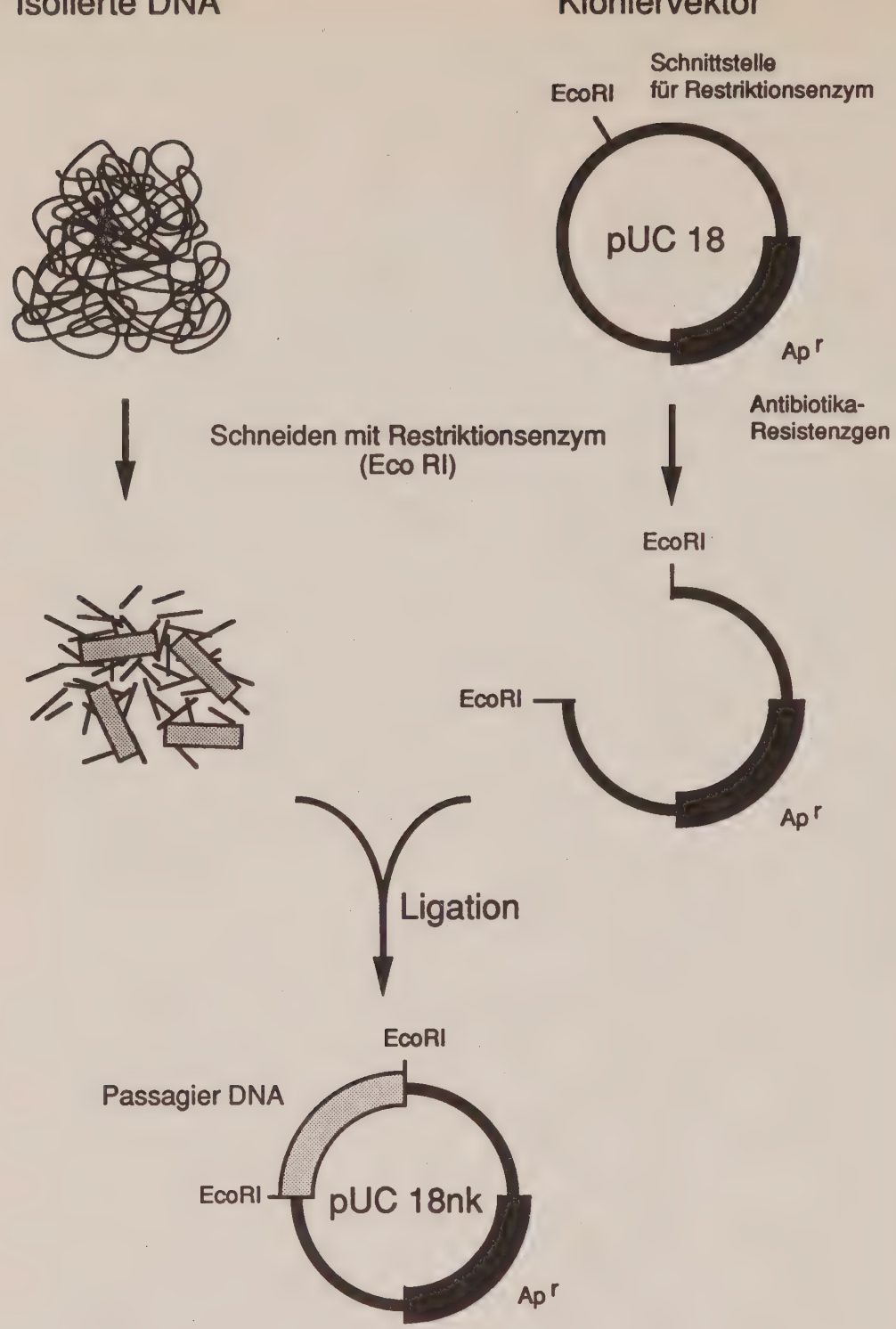


Abb. 29: In-vitro-Neukombination von Nukleinsäuren
Bei einem typischen gentechnischen Experiment wird DNA aus Zellen isoliert und mittels spezieller Enzyme - hier dem Restriktionsenzym EcoRI - in kleine Stücke geschnitten (einige dieser Stücke sind vergrößert dargestellt). Ein bakterielles Plasmid, das als Kloniervektor dient und als Erkennungsmerkmal eine Antibiotikaresistenz (Ap^r) trägt, wird mit dem gleichen Restriktionsenzym geöffnet, und anschließend werden die DNA-Stücke zugegeben. Das Verbinden der zwei DNA-Teile geschieht mit Hilfe des Enzyms "Ligase" und wird Ligation genannt. Die in das Plasmid neu eingebrachte DNA wird auch Passagier-DNA genannt.
Da dieser Vorgang im (Reagenz-)Glas (lat.: in vitro) geschieht, wird er als In-vitro-Neukombination von Nukleinsäuren bezeichnet. Die daraus resultierenden neukombinierten Plasmide besitzen in Form der Passagier-DNA eine zusätzliche Erbinformation.

ren Unternehmenskreis, insbesondere kleineren und mittleren Unternehmen, den Zugang zur Nutzung von Naturstoffen zu eröffnen, ist die Entwicklung von Methoden und Verfahren, derartige Wirkstoffe zu finden, erforderlich. Ein besonderes Interesse besteht in diesem Zusammenhang bei biotechnisch herstellbaren Wirkstoffen.

Daneben ist die Fähigkeit von Organismen, Stoffe *umzuwandeln*, eine weitere Voraussetzung für die Entwicklung biotechnischer Prozesse. Biologische Verfahren zur Umwandlung von natürlich oder chemisch hergestellten Stoffen besitzen gegenüber herkömmlichen chemischen Umwandlungsverfahren den Vorteil einer ausgeprägten Selektivität in Richtung biologisch wirksamer Produkte. Die Suche nach neuen *Abbauleistungen* ist von größter Bedeutung für die Umwelt-Biotechnologie.

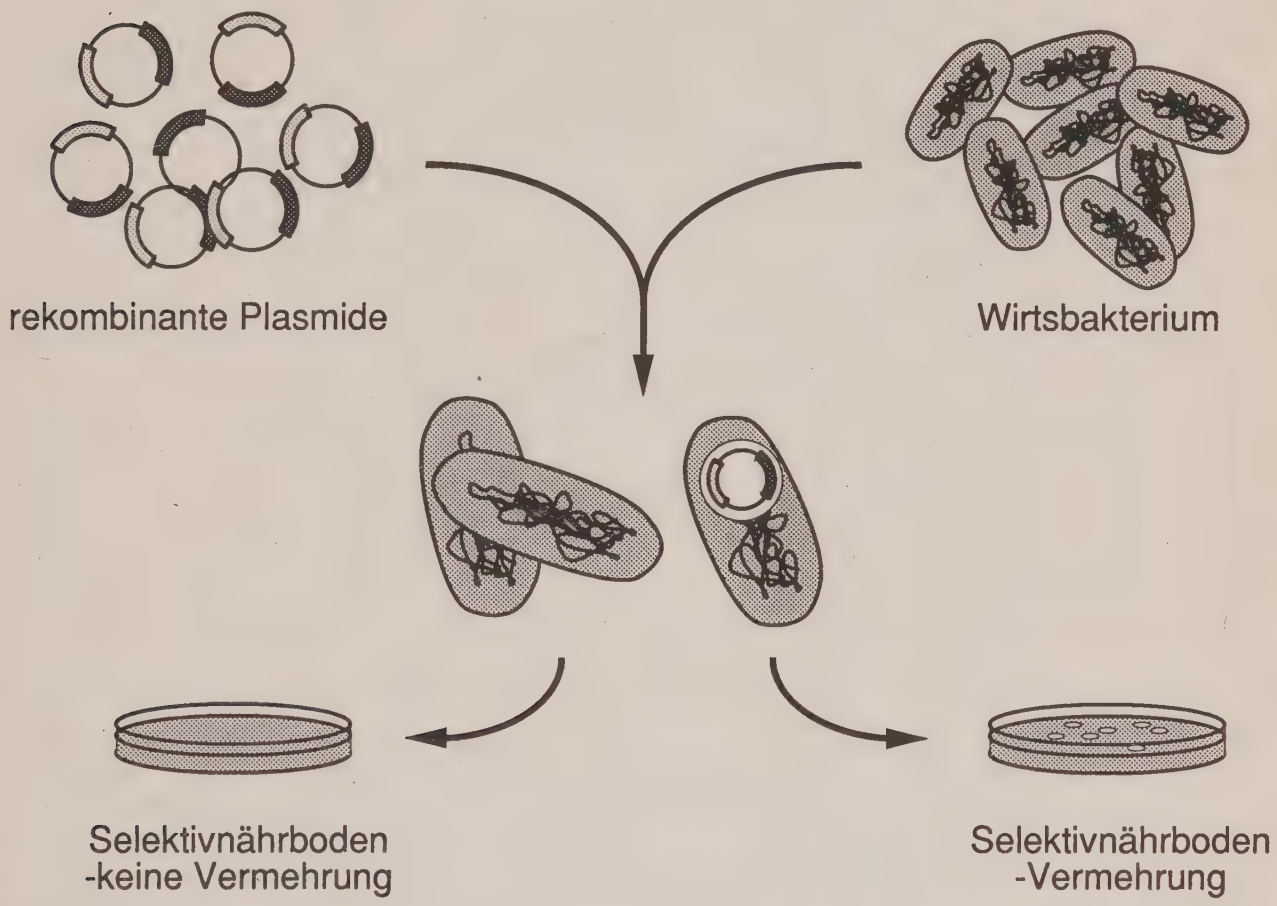


Abb. 30: Klonierung
Nach erfolgreicher In-vitro-Neukombination müssen die entstandenen Plasmide vermehrt werden. Dazu mischt man die neukombinierte DNA mit entsprechend vorbereiteten Wirtsbakterien. Den Vorgang der Plasmidaufnahmen durch die Bakterien bezeichnet man als Transformation. Danach werden die Bakterien auf einen Selektivnährboden übertragen. Dort wachsen nur die Bakterien, die ein Plasmid aufgenommen haben.
Findet man nun eine Bakterienzelle mit dem in-vitro-neukombinierten Plasmid, läßt sich diese durch Teilung vermehren. Es entsteht aus einer Stammzelle eine Population von Zellen, die in den Erbmerkmalen (Genotyp) und der Erbausprägung (Phänotyp) gleich sind: ein Klon

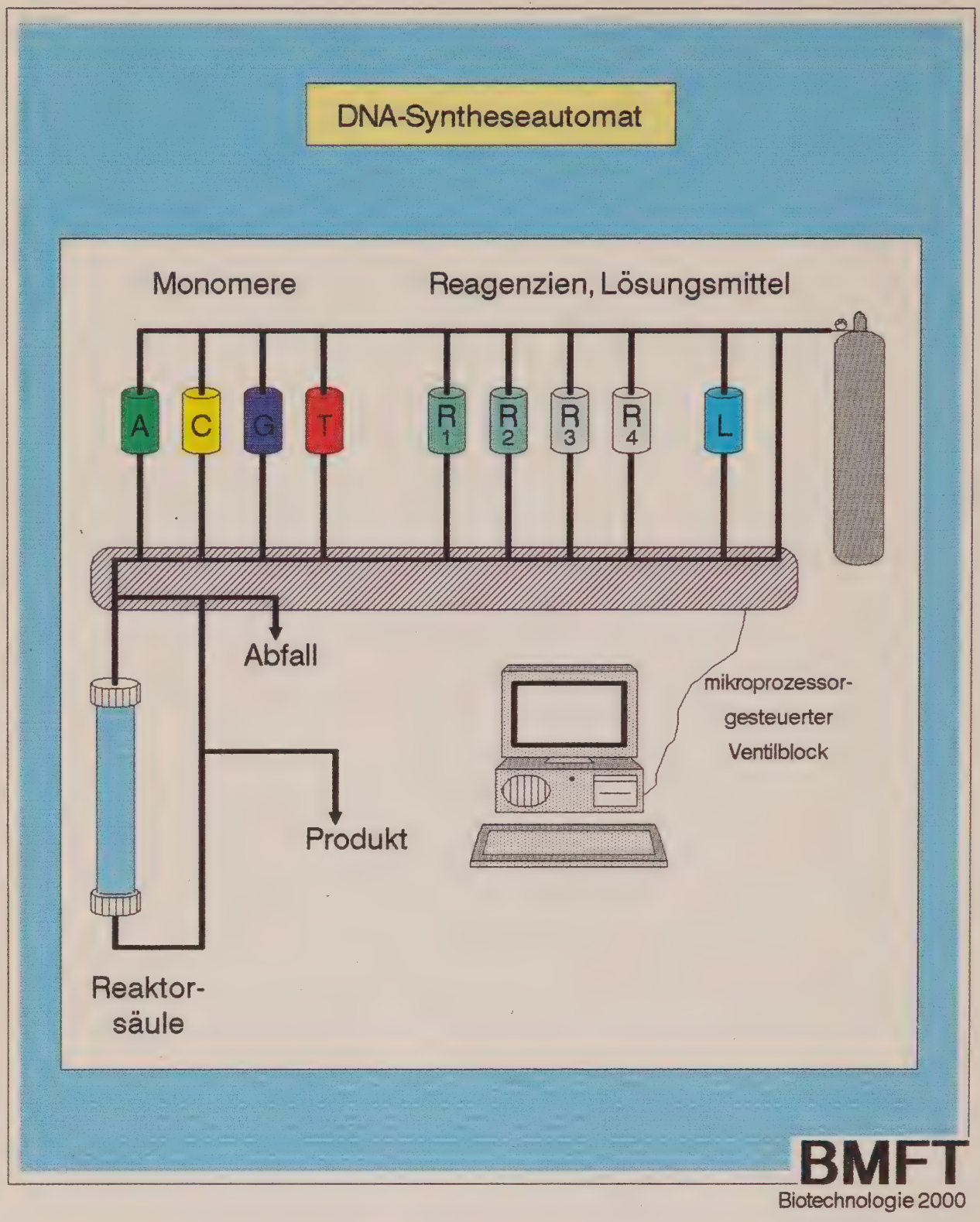


Abb. 31: DNA-Moleküle können mit Syntheseautomaten chemisch hergestellt werden. In eine Reaktionssäule werden die DNA-Bausteine (Monomere) und Reagenzien mit Gasdruck eingeleitet. Der erste Baustein ist fest mit dem Trägermaterial der Reaktorsäule verbunden. Die weiteren Bausteine werden in der gewünschten Reihenfolge stufenweise angekoppelt. Für jede Addition ist eine Folge von chemischen Reaktionsschritten nötig (L = Lösungsmittel, R = Reagenzien). Mit dieser Methode können DNA-Stücke, bestehend aus maximal 150 bis 200 Basen, synthetisiert werden.

Pflanzliche und tierische Zellkulturen verfügen ähnlich wie Mikroorganismen über ein reichhaltiges Spektrum sekundärer Stoffwechselwege. Dieses Leistungspotential kann in der Biotechnologie für Naturstoffsynthesen und für Stoffumwandlungen ebenfalls genutzt werden. Damit bieten sich neue Möglichkeiten zur Gewinnung von Ausgangsstoffen für die Pharma-, Kosmetik- und Nahrungsmittelindustrie. Die Aufklärung der Regulations- und Differenzierungsprozesse in pflanzlichen und tierischen Zellen sowie die Suche nach neuen wirtschaftlich interessanten Produkten aus Zellkulturen sind erforderlich, um das Potential für eine Nutzung zu erschließen.

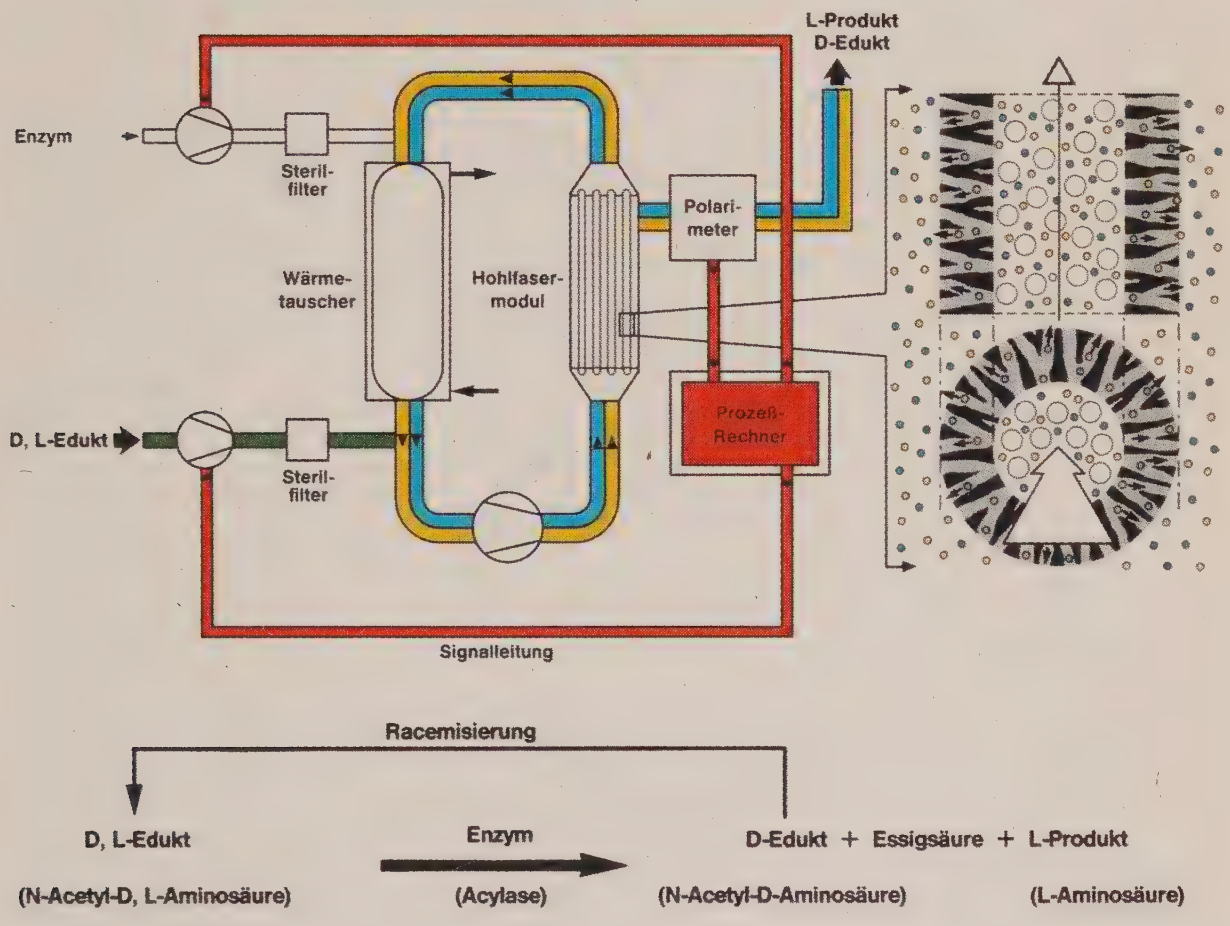


Abb.. 32: Prozeßgeregelter Enzym-Membran-Reaktor
Das Eiweiß des menschlichen Körpers ist aus L-Aminosäuren aufgebaut, die laufend mit der Nahrung (pflanzliches und tierisches Protein) aufgenommen werden. Bei künstlicher Ernährung dienen reine L-Aminosäuren in Infusionslösungen zur Versorgung mit den notwendigen Eiweißbausteinen. Diese werden mit Hilfe von Enzymen (Biokatalysatoren) in speziellen Bioreaktoren gewonnen. Dabei macht man sich zunutze, daß das Enzym einerseits als Biopolymer vielgrößer als das Produkt, andererseits aber noch wasserlöslich ist. Durch Verwendung einer geeigneten Filtrationsmembran kann der Katalysator in einem kontinuierlich durchflossenen Reaktionsgefäß zurückgehalten werden, während die kleinen Produktmoleküle den Bioreaktor ungehindert verlassen können. So wird eine kontinuierliche homogene Katalyse möglich.

Bioverfahrenstechnik

Die Nutzung biologischer Prozesse in der Produktion setzt die Erarbeitung verfahrenstechnischer Grundlagen voraus. Die Bioverfahrenstechnik hat eine lange industrielle Tradition und erhielt durch den Einsatz rekombinanter Produktionsorganismen sowie durch verbesserte Aufbereitungsverfahren neue Impulse.

Neue Ansätze ergeben sich aus Weiterentwicklungen bei der Meß-, Steuer- und Regelungstechnik, besonders durch Einsatz sogenannter *Expertensysteme* bei der Prozeßsteuerung. Von Interesse ist die Entwicklung rechnergestützter Steuerungssysteme für die Bioprozeßführung (Abb. 32), die eine verbesserte Reproduzierbarkeit von Bioreaktionen, eine Früherkennung kritischer Zustände und letztlich wirtschaftliche Ausbeuten an Produkt ermöglichen.

Eine weitere Voraussetzung für die verbesserte Prozeßführung ist die Verfügbarkeit entsprechender Sonden, die Parameter wie Nährstoffausnützung oder Konzentrationen von Produkten und Hemmstoffen direkt messen können. Ideale Meßsonden hierfür sind die *Biosensoren*, die über ihren Einsatz in der Bioverfahrenstechnik hinaus in der Umweltanalytik, der Lebensmittelüberwachung und besonders in der Medizin breite Anwendungsmöglichkeiten bieten.

Biosensoren bestehen aus einer biologisch aktiven Schicht, die als Signalgeber wirkt, und einem elektronischen oder optischen Signalwandler - dem sogenannten Transducer - der die biologische Reaktion in ein elektrisches Signal umsetzt (Abb. 33). Die biologisch oder biochemisch aktive Schicht auf dem Sensor kann dabei Antikörper, Enzyme oder sogar ganze Zellen enthalten. Die besonders hohe Spezifität und Empfindlichkeit biologischer Reaktionen, verbunden mit dem Vorteil der elektronischen Signalwandlung, ermöglichen die direkte Bestimmung von Konzentrationen einzelner Stoffe selbst in so komplexen Gemischen wie Blutplasma. Verschiedene Disziplinen, wie Biologie, Mikroelektronik, Informatik sowie Material- und Polymerforschung wirken bei der Entwicklung von Biosensoren zusammen.

Eine Perspektive zu neuen, umweltverträglichen Produktionsweisen in der chemischen und pharmazeutischen Industrie, im Agrar- und Ernährungssektor, in der Wasserwirtschaft und zahlreichen anderen Anwendungsfeldern eröffnet die *Enzymtechnik*. Die für ihren Einsatz erforderlichen hohen Kosten beschränken ihre Anwendung auf Produktionsverfahren mit Produkten hoher Wertschöpfung, vornehmlich in der chemischen und pharmazeutischen Industrie. Vorzüge der Enzymtechnik sind die milden Reaktionsbedingungen und die hohe Selektivität der enzymatischen Reaktion, die die Bildung von Nebenprodukten einschränken. Forschungsbedarf besteht in der Verbesserung der bisher noch ungenügenden Stabilität vieler Eiweißkatalysatoren und in der Verminderung des Entwicklungsaufwandes für spezifische Anwendungen.

Einzelne Beispiele aus der Peptidsynthese zeigen, daß die enzymatischen Reaktionen ein großes Potential auch wirtschaftlich attraktiver Anwendungsmöglichkeiten bieten.

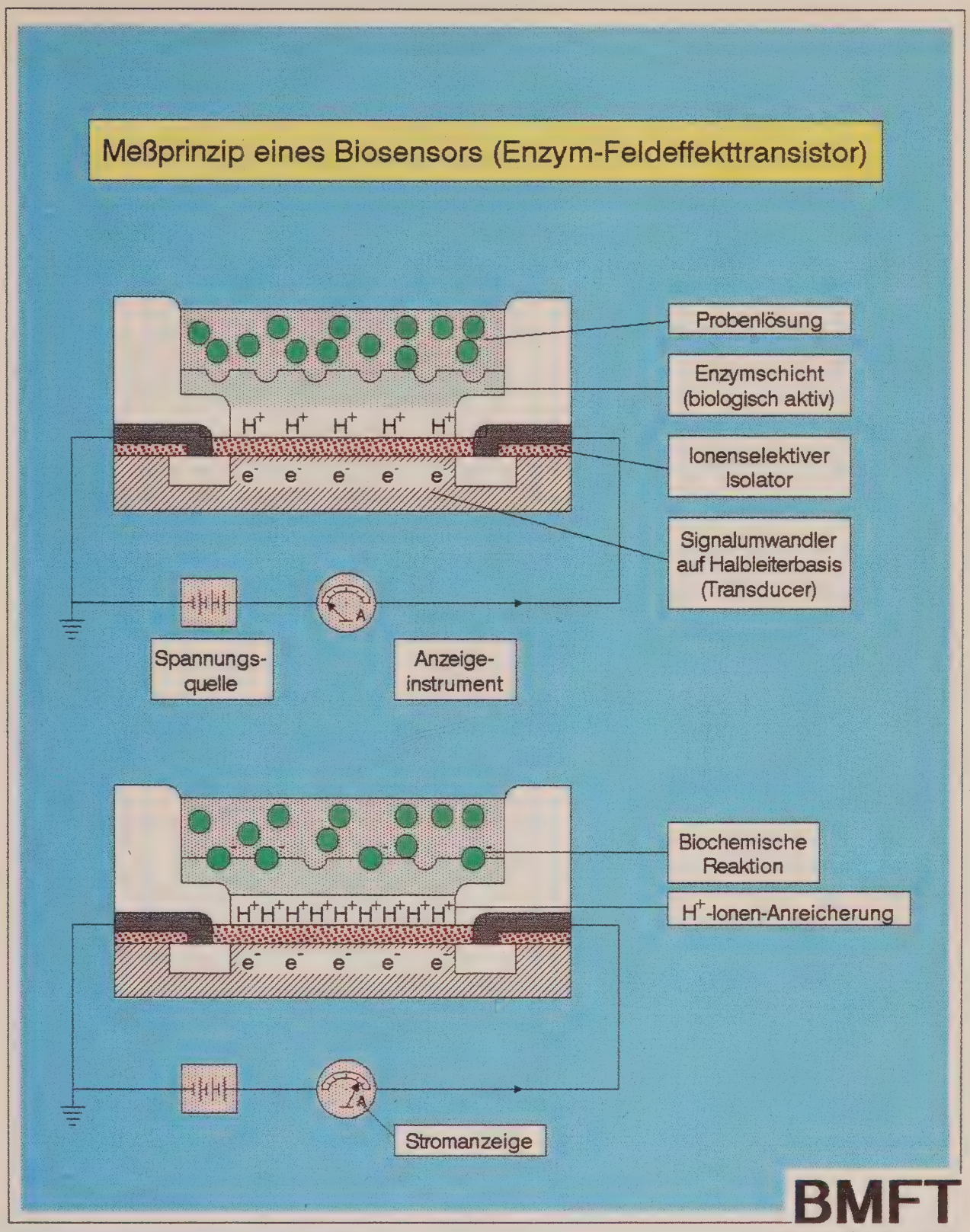


Abb. 33: Meßprinzip eines Biosensors

Über der Isolierschicht des Transducers befindet sich die biologisch aktive Enzymschicht, die auf einer Membran immobilisiert ist. Diese Schicht muß Kontakt mit der Probenlösung haben. Durch eine biochemische Reaktion zwischen dem zu messenden Substrat in der Probenlösung und der biologisch aktiven Schicht ändert sich die Ladungsverteilung an der Grenzfläche zum Transducer. Es reichern sich H^+-Ionen an. Dadurch wird im Transducer ein Strom induziert, der mit einem Meßinstrument angezeigt werden kann.

Mit dem Programm "Biotechnologie 2000" sollen Methoden- und Verfahrensentwicklungen gefördert werden, die neue wissenschaftliche Ansätze verfolgen und die sich im Vorfeld von Herstellungsverfahren für biotechnische Produkte befinden oder die die Grundlage für die Entwicklung von biotechnischen Umweltverfahren bilden. Die Biosensorik wird als Schlüsseltechnologie erhebliche wirtschaftliche Bedeutung gewinnen - die Bundesregierung hat mit der Entwicklung ihres Förderkonzeptes "Biosensorik" dieser Tatsache Rechnung getragen und unterstützt Forschungsarbeiten auf diesem Gebiet.

2. Zellbiologische Forschung, Genstruktur und Genregulation

Moderne Methoden der Biologie haben wesentlich dazu beigetragen, das Wissen über Stoffwechsel und Regulationsvorgänge in höheren Zellen, aber auch über die Wechselwirkungen von Zellen untereinander zu erweitern. Dies bedeutet, daß heute verstanden werden kann, wie Störungen der zellulären Regulationsvorgänge zu bestimmten Krankheiten, wie Krebs, führen können.

Die moderne Biologie eröffnet damit einzigartige Chancen für eine *neue biomedizinische Grundlagenforschung*, nämlich durch ein besseres Verständnis der zellulären Prozesse auf molekularer Ebene die Basis für eine moderne Kausaltherapie von Krankheiten zu schaffen.

Bei der *Regulation elementarer Lebensvorgänge,* wie z. B. der Wundheilung, der Blutgerinnung oder der Blutdruckregulation nehmen Proteinasen und ihre Inhibitoren lebenswichtige Funktionen wahr. Die bisherige Förderung hat zum besseren Verständnis der Rolle dieser Eiweißstoffe bei pathobiochemischen Prozessen im Körper beigetragen. Wie bei anderen therapeutisch interessanten Proteinen und Peptiden könnten auch hier durch die Verbesserung der biotechnischen Herstellungsmethoden Grundlagen für eine Wirkstoffproduktion in ausreichender Menge und Qualität geschaffen werden. Über das Verständnis von Struktur und Funktion hinaus gewinnt in Zukunft die gezielte Veränderung der Proteine (Proteindesign) an Bedeutung, wodurch ihre Wirksamkeit noch erhöht wird.

Eine wesentliche Rolle bei der zellulären Interaktion spielen *biologische Membranen.* Die Aufklärung der Struktur und der Funktionen von Membrankomponenten wie Proteinen, Lipiden und deren Glycoverbindungen führt zu einem besseren Verständnis und definierteren Anwendungen. Weiterhin ist Grundlage für künftige therapeutische Eingriffmöglichkeiten das bessere Verständnis der *Signalübertragung und des Stofftransportes* innerhalb von Zellen und zwischen Zellen. Ein wichtiger Gegenstand der zellbiologischen Forschung ist ferner die Untersuchung der biologischen Zusammenhänge der körpereigenen Abwehr durch das Immunsystem. *Antikörper* als wesentliche Werkzeuge der Immunreaktion bilden die Grundlage für zahlreiche Anwendungen in Medizin und Diagnostik. Die Herstellungsverfahren für Antikörper können aber routi-

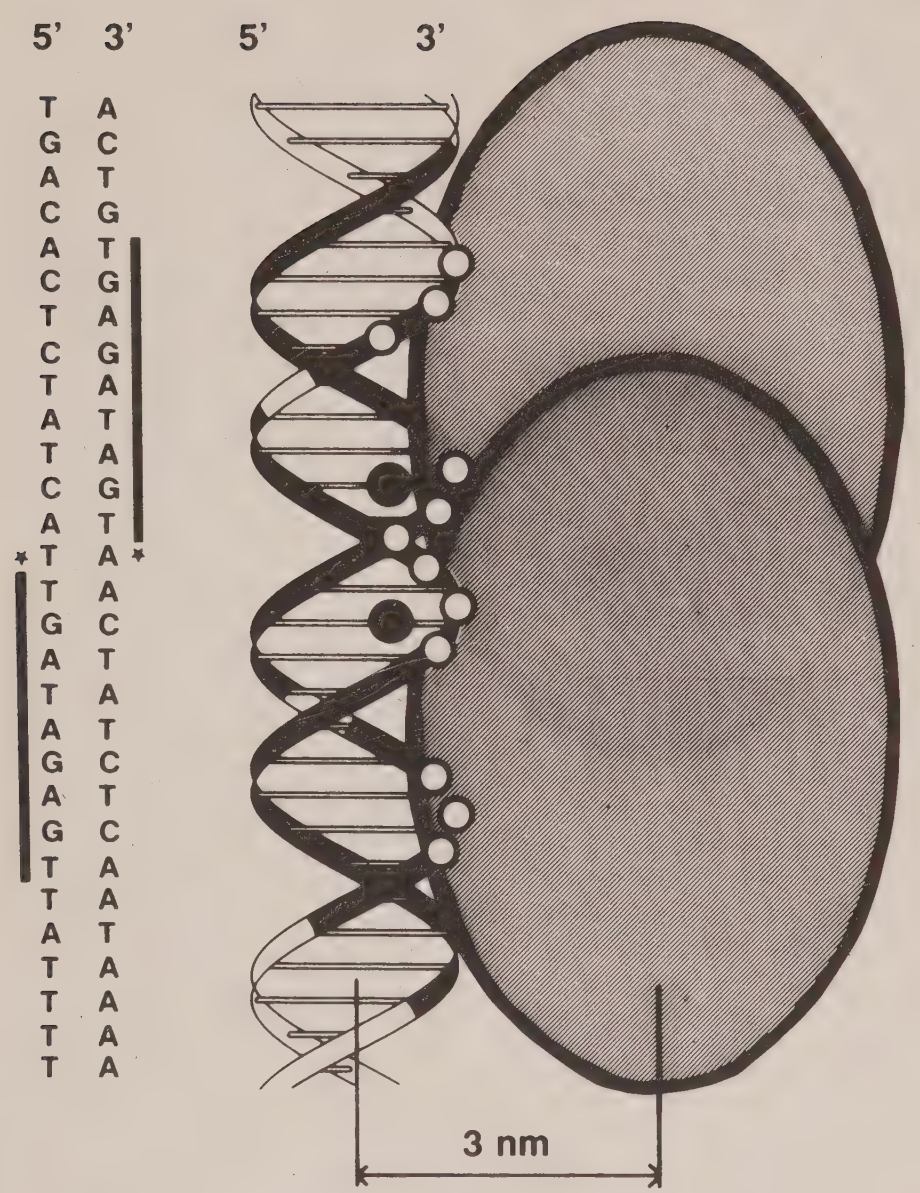


Abb. 34: Genetischer Schalter
Links im Bild ist die betrachtete Sequenz von Nuklein-Säuren dargestellt, aus denen die DNS aufgebaut ist, wobei der Bereich des Operators durch die schwarzen Balken markiert ist. Diese Region ist punktsymmetrisch zu der mit den Sternen gekennzeichneten Stelle. Die schwarzen Punkte innerhalb der Doppelhelix kennzeichnen chemische Verbindungen, die bei der Aktivierung des Gens tätig werden. Offenbar besteht der Repressionsmechanismus darin, daß diese Stellen durch das Repressor-Dimer großflächig abgedeckt werden.

nemäßig bisher nur zur Produktion von Maus-Antikörpern verwendet werden. Forschungsbedarf besteht in der Weiterentwicklung der Methode auch zur Herstellung humaner Antikörper. Damit würde sich ein Einsatzgebiet dieser Proteine in Therapie und Diagnostik erschließen und die technologischen Voraussetzungen für eine breitere Anwendung in der industriellen Produktion selektiv helfender Diagnostika und Therapeutika geschaffen.

Die Organisation der körpereigenen Abwehr erfolgt durch Signalstoffe, sog. Cytokine. Das bessere Verständnis der Funktion dieser Eiweißstoffe wird die Entwicklung von Medikamenten zur Stärkung natürlicher körpereigener Abwehrmechanismen ermöglichen.

Viele andere Prozesse im Menschen werden durch ähnliche Signalstoffe reguliert, etwa das Wachstum der Haut oder der Nerven, auch das Knochenwachstum. Viele dieser Wachstums- und Regulationsfaktoren sind bisher nur unzureichend untersucht und sind besonders mit Blick auf künftige therapeutische Einsatzmöglichkeiten noch ein lohnendes Arbeitsfeld der Grundlagenforschung in Zusammenarbeit mit Forschern der Industrie.

Die Wissenschaft verfügt heute über neue, molekularbiologische und gentechnische Instrumente, um die *Genstruktur* bis hin zur Basensequenz der DNA aufzuklären. Untersuchungen zur Funktion und Regulation einzelner Gene führen zu einem tieferen *Verständnis der Entwicklung und Differenzierung* bei höheren Organismen. Damit kommt man der wohl interessantesten Frage der Forschung, welches die naturwissenschaftlichen Grundlagen des Lebens sind, einen wesentlichen Schritt näher.

Die in der Biotechnologie, insbesondere im Bereich der Diagnostik, entwickelten Methoden können die Tierzucht wie auch die Tiergesundheit bei Nutztieren auch unter Tierschutzgesichtspunkten erheblich verbessern. Schmerzen und Leiden von Tieren können einerseits durch die Zucht gesunder, krankheitsresistenter Tiere und durch die Eindämmung von Krankheiten durch Seuchenprophylaxe und Impfstoffe wesentlich verringert werden. Ein tiefes Verständnis des molekularen Zusammenspiels von Resistenzen und Krankheitserregern, den Erbgängen von Krankheiten und Resistenzen und eine gezielte Entwicklung neuartiger Impfstoffe werden durch die neue Biotechnologie ermöglicht.

Der quantitative Sprung zum Verständnis des Aufbaus und der Organisation ganzer Genome erfordert in Zukunft verbesserte und schnellere Methoden der DNA-Sequenzierung und der Datenauswertung.

An Fragen zur *Strukturaufklärung von Genomen* wird derzeit weltweit mit großem Aufwand gearbeitet. Wissenschaftler der USA wollen in einer groß angelegten Initiative bis zum Jahr 2005 das gesamte menschliche Genom analysiert haben. Der EG-Ministerrat verständigte sich Ende 1989 auf einen gemeinsamen Standpunkt für das Einzelprogramm "Analyse des menschlichen Genoms". Dessen Ziel ist es, durch Kar-

tierungsarbeiten, Herstellung geordneter Klonsammlungen sowie allgemeine Verbreitung und Verbesserung der dazu benötigten Techniken Voraussetzungen für eine Vorhersage von Erbkrankheiten und deren möglichst frühe medizinische Behandlung zu schaffen. Darüber hinaus existieren spezifische Programme zur Erforschung des jeweiligen Genoms von Hefe, Arabidopsis, Bacillus subtilis, Drosophila und von der Maus.

Im September 1988 ist in Montreux die *"Human Genome Organization (HUGO)"* als Einrichtung zur Förderung der internationalen wissenschaftlichen Zusammenarbeit gegründet worden. Primäres Ziel ist die weltweite Koordinierung der Forschungsar-

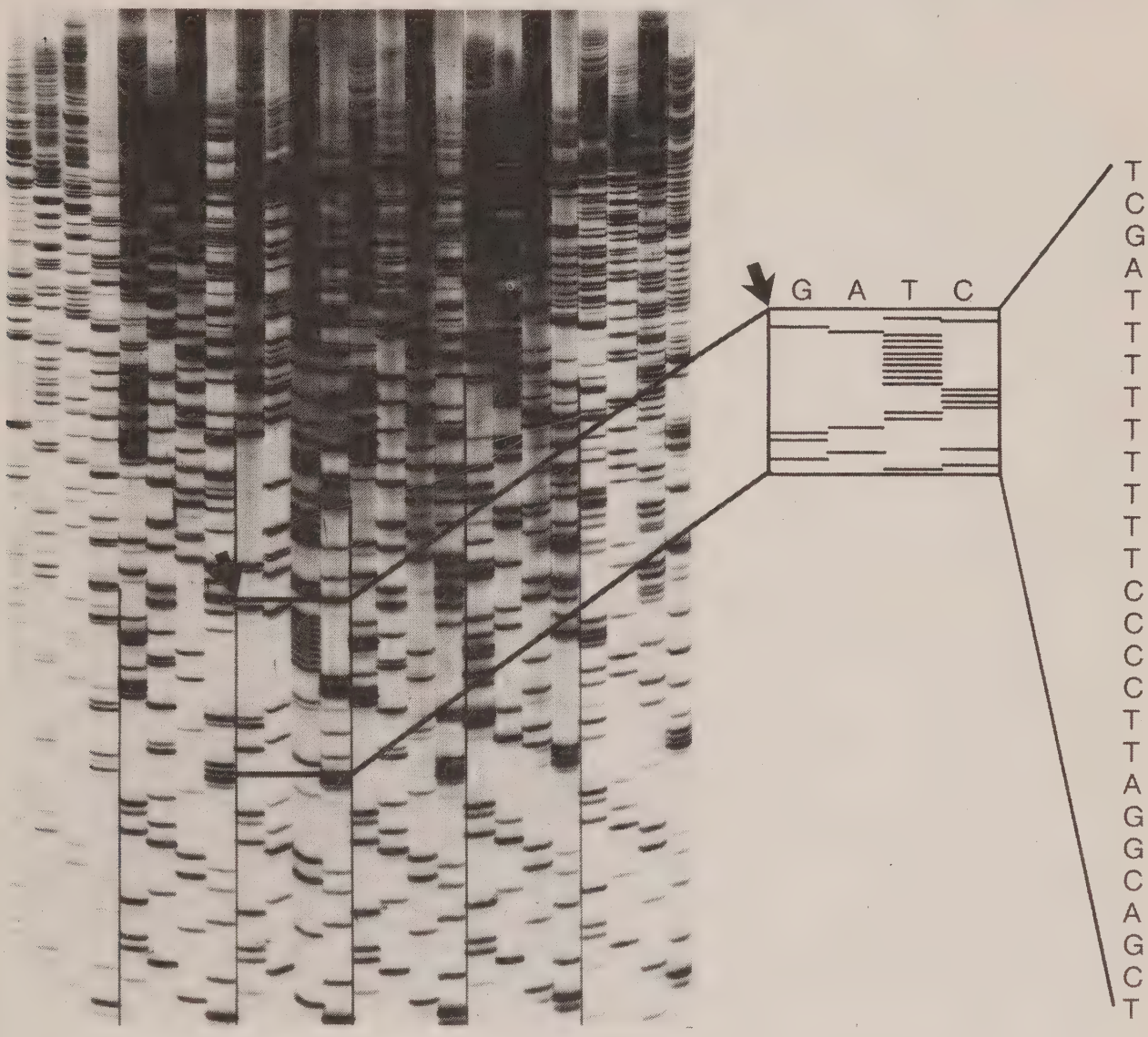


Abb. 35: Entschlüsselung der genetischen Information
Bei der Entschlüsselung der genetischen Information werden die basenspezifisch erzeugten Bruchstücke einer DNA entsprechend ihrer Größe aufgetrennt und auf einem Röntgenfilm sichtbar gemacht. Die Auftrennung ist so gut, daß Bruchstücke, die sich in ihrer Länge nur um einen Baustein unterscheiden, getrennte, scharfe Banden ergeben.
Der Leseprozeß der Basenabfolge ist in der Skizze nachvollzogen. Der Pfeil kennzeichnet jeweils die linke obere Ecke des Lesefeldes.

beiten zur Entschlüsselung des menschlichen Genoms. Diese Organisation will außerdem Workshops organisieren und den internationalen Wissenschaftleraustausch durch die Vergabe von Stipendien fördern. Eine Diskussion der *ethischen und sozialen Aspekte*, die sich aus den technischen Fortschritten der Genomforschung ergeben, soll ebenfalls im Rahmen von HUGO erfolgen.

Die DFG fördert seit 1986 das Schwerpunktprogramm "Analyse des menschlichen Genoms mit molekularbiologischen Methoden", das mit BMFT-Projektmitteln verstärkt wird, sowie seit 1989 das Schwerpunktprogramm "Genomanalyse und Gentransfer beim Nutztier".

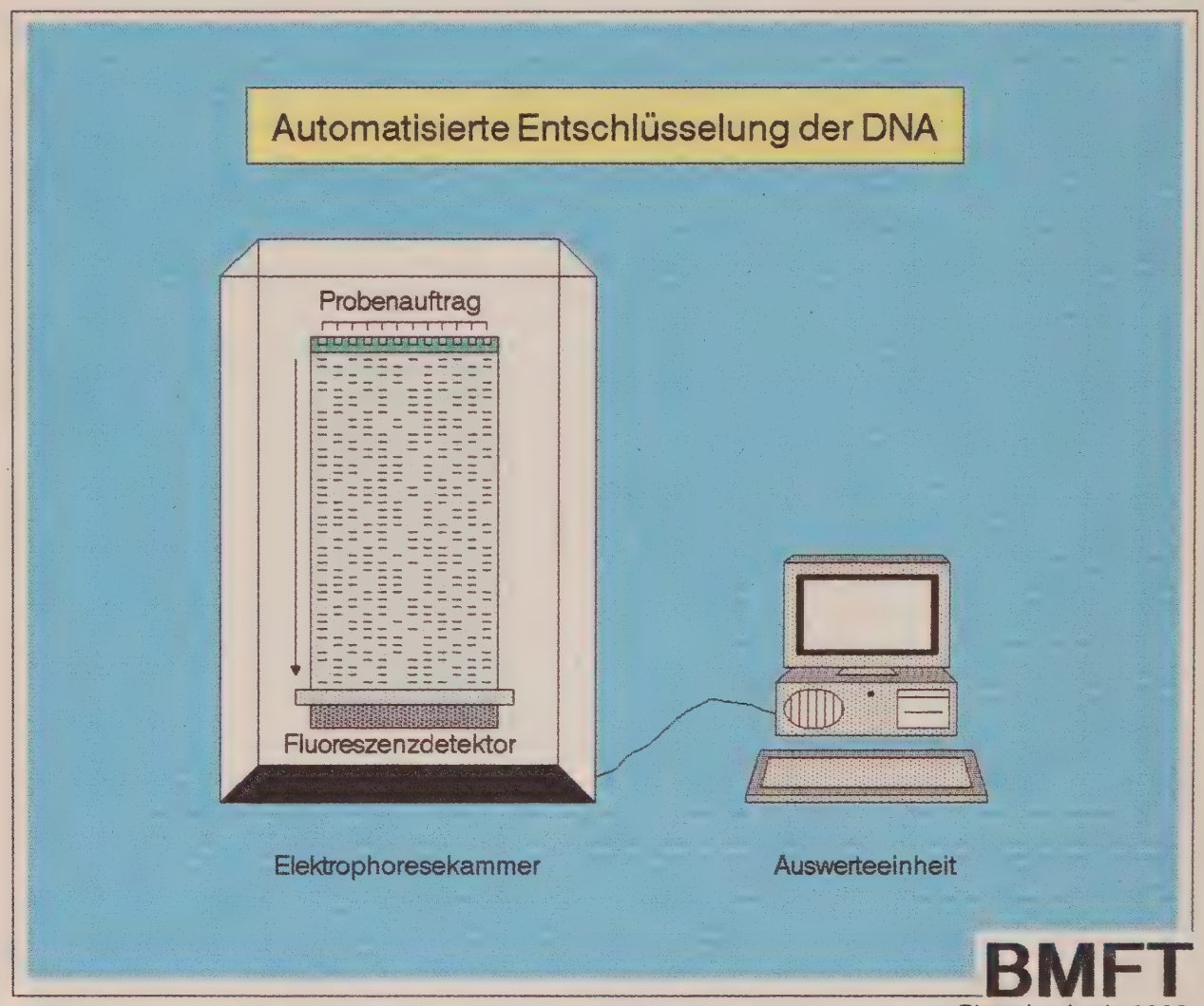


Abb. 36: Automatisierte Entschlüsselung der DNA
Bei der automatisierten Entschlüsselung der genetischen Information werden DNA-Fragmente jeweils an einem Ende mit einem fluoreszierenden Farbstoff markiert. Dabei ist den vier verschiedenen Basen, A, T, G und C jeweils ein anderer Farbstoff zugeordnet. Die entstandenen Bruchstücke werden anschließend nach ihrer Größe aufgetrennt. Am Ende der Laufstrecke wird die Abfolge der DNA-Bausteine über ihre Farbmarkierung registriert und die Daten an die Auswerteeinheit weitergegeben. Dort wird die Basenabfolge der aufgetragenen DNA ermittelt und ausgedruckt.

Die Forschungsförderung konzentriert sich daher auf thematische Schwerpunkte, die dem Verständnis der molekularen Grundlagen zellbiologischer Prozesse und ihrer Regulation dienen, wobei anwendungsbezogene Aspekte im Vordergrund stehen. Ferner soll vor allem die Forschung am Genom sogenannter Modellorganismen (z. B. Bakterien, Pilze, Pflanzen, Tiere) gefördert werden. Darüber hinaus ist der Ausbau der Daten- und Informationsinfrastruktur vorgesehen. Vor allem aber sollen Anstrengungen unterstützt werden, Methoden der Strukturaufklärung zu verbessern bzw. neue Methoden zu entwickeln, die zu einer Automatisierung der aufwendigen Sequenzierarbeit führen.

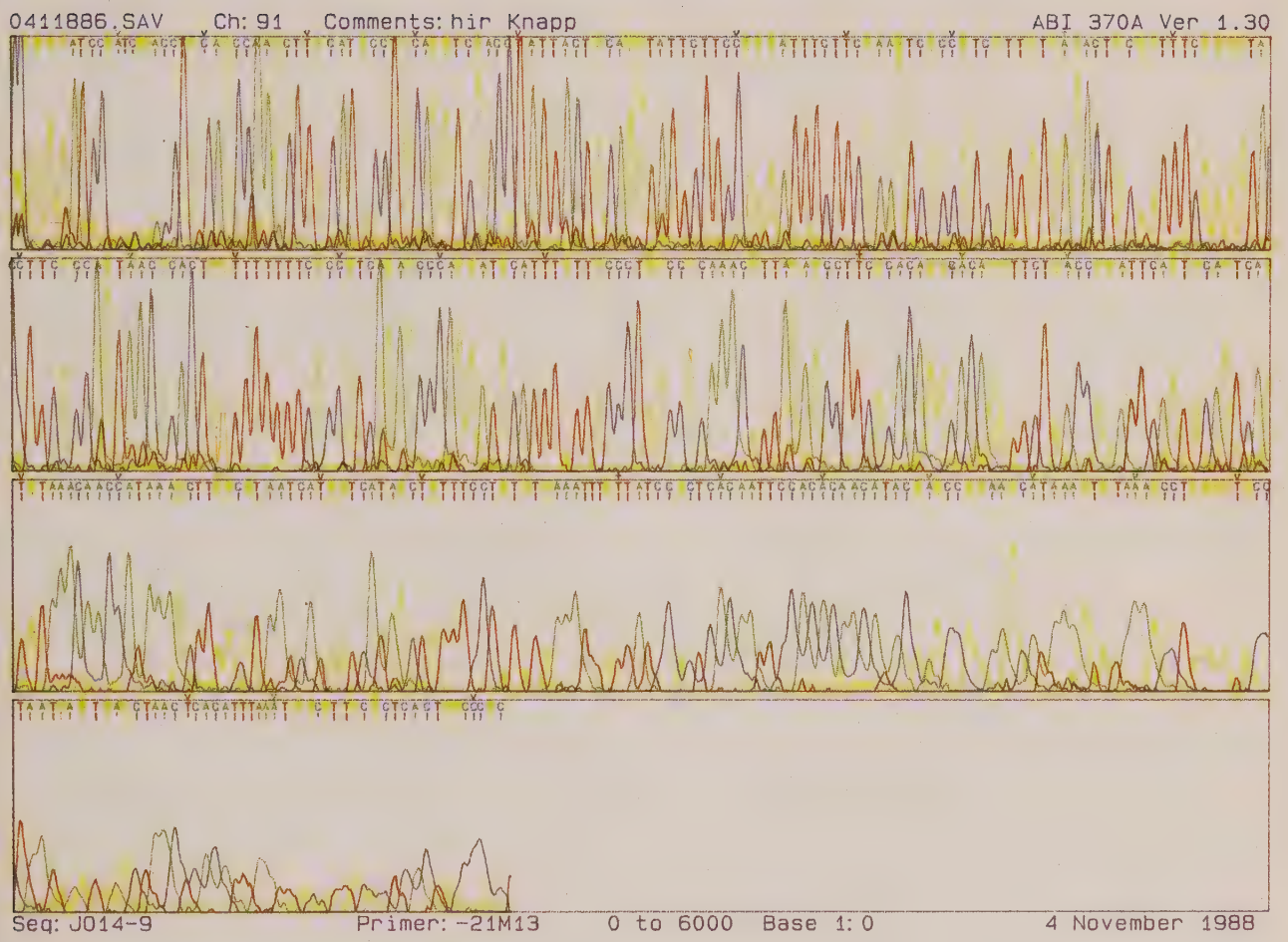


Abb. 37: Automatisch bestimmte Basenabfolge eines DNA-Stückes
Der farbige Ausdruck zeigt die automatisch bestimmte Basenabfolge eines DNA-Stückes, wobei der Base A die Farbe Grün, T Rot, G Gelb und C Blau zugeordnet ist. Die Basenabfolge kann von diesem Ausdruck wie ein Text gelesen werden.: GGGGATCCGATCGGAACC ...

3. Photosynthetische Stoffproduktion und Biologische Wasserstoffgewinnung

Der weitaus bedeutendste Prozeß für die Energieversorgung auf der Erde ist die Photosynthese in grünen Pflanzen. Während der Mensch jährlich ca. 4 Milliarden Tonnen Kohle und Erdöl fördert und zur Energiegewinnung zu Kohlendioxid und Wasser verbrennt, nehmen die Pflanzen jährlich ca. 700 Milliarden Tonnen Kohlendioxid aus Luft und Wasser auf, um sie mit Hilfe des Sonnenlichts in energiereiche organische Verbindungen wie Kohlenhydrate, Eiweiße und Fette umzuwandeln. Mit der Photosynthese für den Kohlendioxid-Gehalt der Atmosphäre und damit für unsere klimatischen Lebensbedingungen stellt sich die Frage, ob das enorme Energiepotential der Photosynthese über das traditionelle Maß hinaus für den Menschen nutzbar gemacht werden kann. Bei der Suche nach neuen, regenerativen Energiequellen ist zu prüfen, ob die Biotechnologie hierzu einen Beitrag leisten kann.

Die Grundlagenforschung hat in den letzten Jahren erhebliche Fortschritte beim Verständnis elementarer Vorgänge der *Photosynthese* erzielt. Der Weg vom Verständnis der Photosynthese bis zur gezielten Steigerung dieses natürlichen Energiegewinnungsverfahrens ist allerdings noch weit. Von besonderem Interesse ist die Erhöhung der photosynthetischen Leistung der Pflanzen mit dem Ziel einer effizienteren *Biomasseproduktion*, also einer besonders wirksamen Umwandlung von Sonnenenergie in chemisch gespeicherte Energie, wobei entsprechende Kohlendioxidmengen aus der Luft gebunden werden. Angesichts des gewaltigen Potentials der auf der Erde ablaufenden photosynthetischen Prozesse soll hier hervorgehoben werden, daß die Nutzung existierender und durch Züchtung verbesserter Pflanzen zur Gewinnung von Nahrungsmitteln und nachwachsenden Rohstoffen natürlich im Vordergrund steht. Gerade die Bedeutung der Photosynthese für das Leben begründet aber auch die Suche nach Möglichkeiten zur Beeinflussung und erweiterten Nutzung dieses biologischen Prozesses der Sonnenenergieumwandlung.

Einen weiteren Beitrag zur Erschließung umweltfreundlicher regenerativer Energiequellen könnte die Biotechnologie mit der *biologischen Wasserstoffgewinnung* leisten. Zahlreiche Mikroorganismen bilden bei der Verwertung von Biomasse als Nahrungsquelle in geringen Mengen Wasserstoff als "Abfallprodukt". Cyanobakterien und Grünalgen nutzen ihre Fähigkeit zur Photosynthese nicht nur zum Aufbau organischer Moleküle, sie können auch mit Hilfe der Lichtenergie Wasserstoff produzieren. Die Kenntnisse über die biologische Wasserstoffbildung sind aber noch sehr begrenzt. Erheblicher Forschungsaufwand ist zu leisten, bis die Stoffwechselprozesse dieser Mikroorganismen auf eine optimierte Wasserstoffbildung hin beeinflusst werden können. Mit dem Förderkonzept zur biologischen Wasserstoffgewinnung hat die Bundesregierung die thematischen Leitlinien der künftigen Forschungsförderung auf diesem Gebiet formuliert.

Molekularer Wasserstoff ist gleichermaßen Produkt und Substrat des bakteriellen und pflanzlichen Stoffwechsels. Gebildet wird er im Zuge von Gärungsvorgängen und als Nebenprodukt bei der Stickstoff-Reduktion zu Ammoniak. Der interessanteste Prozeß zur Produktion von Wasserstoff durch ein biologisches System ist jedoch die *Spaltung von Wasser* in Sauerstoff und Wasserstoff mit Hilfe des Photosyntheseapparates der grünen Pflanzen oder der Cyanobakterien (Biophotolyse). Die biophotolytische Wasserstofferzeugung kann sowohl mit künstlichen In-vitro-Systemen als auch mit intakten Organismen realisiert werden. Vorteile der Biophotolyse liegen in der direkten Umwandlung der Solarenergie in einen speicherbaren Energieträger. Das Hauptproblem der Biophotolyse stellt der niedrige Wirkungsgrad (definiert als Verhältnis der dem System entnehmbaren Nutzenergie zur eingestrahlten Solarenergie) und die komplizierte Trennung von Wasserstoff und Sauerstoff dar. Als theoretisch erreichbarer Wirkungsgrad wird 14 % angenommen. Die derzeit bekannten Systeme liegen mit ihrem Wirkungsgrad meist unter 1 %.

Die Möglichkeit einer biotechnischen Wasserstofferzeugung steht dabei im Wettbewerb mit anderen vom BMFT geförderten Verfahrensentwicklungen, die eine um-

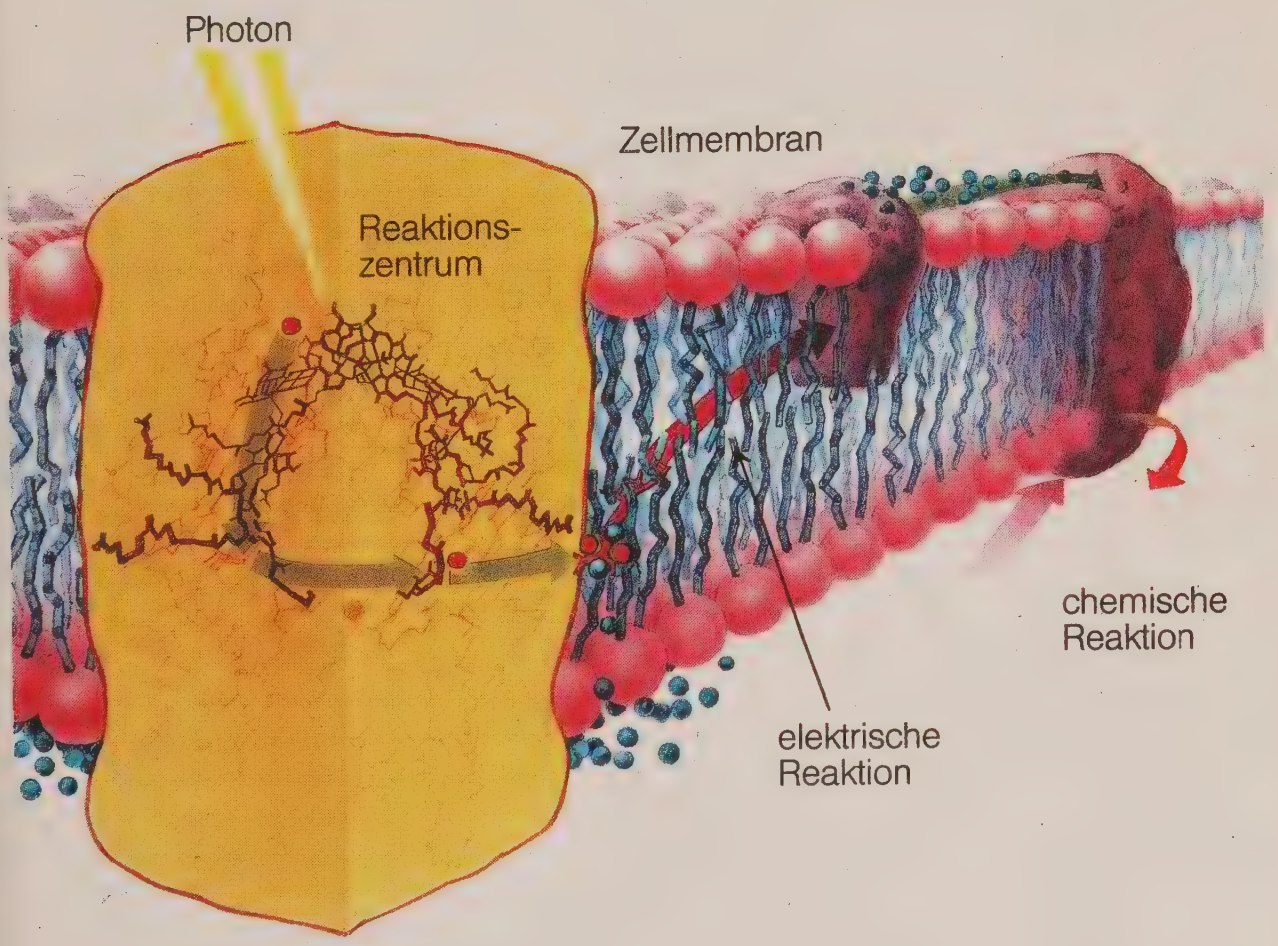


Abb. 38: Zentrum der Photosynthese
Hier wird Licht zunächst in elektrische Energie und anschließend in chemische Energie umgewandelt.

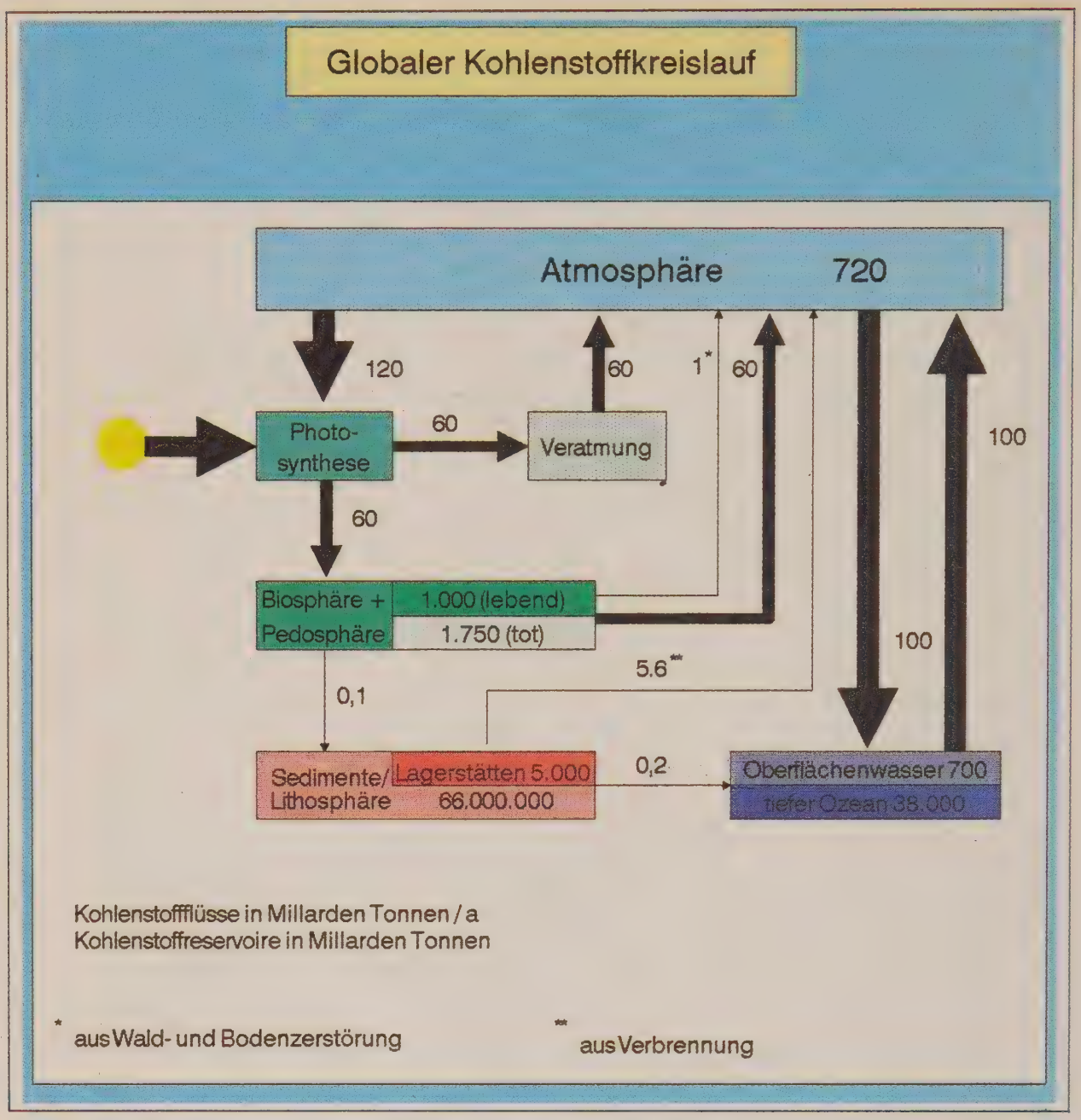


Abb. 39: Der CO_2-Kreislauf ist eingebettet in den globalen Kohlenstoffkreislauf. Die Atmosphäre tauscht Kohlenstoff (C) mit dem Ozean und der Biosphäre vor allem über das CO_2 aus. In der Biospähre lagern 1 000 Milliarden Tonnen C. Der Austausch von CO_2 zwischen der Atmosphäre und der Biosphäre erfolgt hauptsächlich über die Photosynthese der Pflanzen, wobei Kohlenstoff gespeichert wird. Bei der Respiration (Atmung) und der Verwesung der Pflanzen sowie auch der Atmung von Tieren wird CO_2 wieder in die Atmosphäre freigesetzt. Der Kohlenstoff abgestorbener Pflanzen bildet ein Kohlenstoffreservoir, das teilweise durch die Flüsse in die Ozeane geschwemmt wird und teilweise in der Erde (beispielsweise als Humus) gespeichert wird. Die natürlichen Quellen des CO_2 sind die Pflanzenatmung, die mikrobielle Zersetzung des organischen Materials im Boden, Gesteinsverwitterung und die Freisetzung von CO_2 aus dem Ozean. Senken des atmosphärischen CO_2 sind die Aufnahme von CO_2 im Ozean und die Photosynthese der Pflanzen. Eine besonders große Rolle spielt die Photosynthese von Meeresplankton. Es fixiert etwa 60 Prozent des Kohlenstoffs, den die gesamte Pflanzenwelt bei der Photosynthese aufnimmt.

Beispiele für die Funktion von Proteinen

Proteine	Funktion
Antikörper	Teil des Immunsystems; körpereigene Proteine zur Abwehr eingedrungener Fremdstoffe (Infektionsabwehr)
Enzyme	Biokatalysatoren; ermöglichen bzw. beschleunigen die zahlreichen Reaktionen des Stoffwechsels (z.B, die Spaltung von Stärke zu Zucker oder die Spaltung von Nukleinsäuren)
Hormone	Hormone werden in Drüsen oder spezialisierten Zellen gebildet und dienen der Informationsübermittlung zwischen Zellen, Geweben und Organen (jedoch sind nicht alle Hormone Proteine)
Kanalproteine	z.B. Proteine des Natrium-Kanals; sind für den Energiestoffwechsel von Bedeutung
Rezeptoren	Rezeptorproteine sitzen auf der Zellaußenseite und können Signale, wie z.B. die Gegenwart eines Hormons, aufnehmen und in das Zellinnere weiterleiten
Speicherproteine	Reservestoffe, z.B. in Pflanzensamen oder im Hühnerei enthalten
Stützproteine	z.B. Kollagen; stabilisiert Knochen- und Bindegewebe sowie Knorpel und Sehnen
Strukturproteine	z.B. Keratin; in Federn, Haaren und Nägeln enthalten
Transportproteine	z.B. Hämoglobin (roter Blutfarbstoff; führt den Sauerstofftransport im Blut durch)

BMFT
Biotechnologie 2000

Abb. 40

Proteine aus gentechnischen Entwicklungen mit möglicher therapeutischer Anwendung

Substanz	Funktion	Mögliche Anwendung
Wachstums-Hormon (GH)	fördert Wachstum	Zwergwuchs-Therapie, Wundheilung (Brandwunden), Knochenbrüche, Kräfteverfall
Somatostatin	inhibiert GH-Sekretion	Diabetes
Somatomedin	vermittelt Wirkungsweise von GH	Wachstumsförderung
Wachstumshormon ausschüttender Faktor (GRF)	erhöht Ausschüttung von GH	Wachstumsförderung
Insulin	Zuckerstoffwechsel	Diabetes
Luteinisierendes Hormon (LH)	induziert Ovulation, stimuliert Androgen-Sekretion	Unfruchtbarkeit
Follikelstimulierendes Hormon (FSH)	induziert Wachstum der Ovarien	Unfruchtbarkeit
Human Choriongonatotropin	ähnlich LH	Schwangerschaftstest
Relaxin	entspannt die Gebärmutter	Geburtshilfe
beta-Endorphin	lindert Schmerz	Schmerzmittel
Enzephalin	lindert Schmerz	Schmerzmittel
pankreatisches Endorphin	lindert Schmerz	Schmerzmittel (Geburtshilfe)
Interleukin 2	Proliferationsfaktor für T-Zellen	Immuntherapie, Lymphozytenkulturen
Leukozyten-Interferon (alpha)	verleiht Schutz gegen Virusinfektion und ist Virus-induzierbar	antiviral. Tumortherapie
Fibroblasten-Interferon (beta)	Virus-induzierbares Protein, schützt vor weiterer Infektion mit Virus	Immunmodulation
Interferon (gamma)	Virostatikum	Immunmodulation
Urokinase	aktiviert Plasminogen	Auflösung von Blutgerinnseln
Gewebeplasminogenaktivator (TPA)	aktiviert Plasminogen	Auflösung von Blutgerinnseln

BMFT
Biotechnologie 2000

Abb. 41

Substanz	Funktion	Mögliche Anwendung
Streptokinase	aktiviert Plasminogen	Auflösung von Blutgerinnseln
Erythropoetin	stimuliert Erythrozyten-bildung	bei Blutarmut infolge chronischer Nierenerkrankung
Atrialer natriuretischer Faktor (ANF)	senkt Blutdruck	Bluthochdruck
Fibroblasten Wachstums-Faktor (FGF)	stimuliert Angionese	Wachstum der Blutgefäße
Kolonien-stimulierender Faktor für Granulozyten (G-CSF)	stimuliert Granulozyten	Leukämie/Krebsbehandlung (Chemotherapie-Begleitung)
Kolonien-stimulierender Faktor für Granulozyten und Monozyten (GM-CSF)	stimuliert Granulozyten/ Monozyten	Krebsbehandlung (Begleitung zur Chemotherapie)
Kolonien-stimulierender Faktor für Monozyten und Makrophagen (M-CSF)	stimuliert Monozyten/ Makrophagen	Infektionskrankheiten
Nervenwachstumsfaktor (NGF)	stimuliert Nervenwachstum	Nervenverletzungen, Alzheimersche Krankheit
Tumor Nekrosefaktor (TNF)	hemmt Tumorwachstum	Tumortherapie
Lymphotoxin	reguliert Zellwachstum	Tumortherapie
Insulinähnlicher Wachstumsfaktor (IGF)	stimuliert Zellwachstum	Wachstumsförderung
Epidermaler Wachstumsfaktor (EGF)	stimuliert Zellwachstum	Wachstumsförderung
Faktor VIII	Blutgerinnung	Bluterkrankheit
Faktor IX	Blutgerinnung	Bluterkrankheit
Hepatitis Bs-Antigen	Hüllprotein des Virus	Hepatitis-Impfstoff
Herpes-SV Antigen 1 und 2	Hüllprotein des Virus	Herpes-Impfstoff
Tollwut SV-Antigen	Hüllprotein des Virus	Tollwutimpfstoff

BMFT
Biotechnologie 2000

weltfreundliche Energieversorgung mit Wasserstoff zum Ziel haben, wie der elektrolytischen Wasserspaltung mit photovoltaisch erzeugter Elektrizität.

Die geplanten Förderaktivitäten auf den Gebieten der Photosynthese und biologischen Wasserstoffgewinnung sind derzeit noch voll im Bereich der Grundlagenforschung angesiedelt und unter dem Aspekt der Vorsorge, d. h. der Vermehrung technologischen Wissens mit Blick auf die mögliche Eröffnung weiterer energiewirtschaftlicher Handlungsspielräume zu sehen. Es werden Untersuchungen gefördert, die an dem molekularbiologischen Verständnis der Photoreaktion und den in den Organismen ablaufenden Stofftransportvorgängen ansetzen.

4. Synthetische Biologie, Proteindesign

Der Schlüssel für das Verständnis der biologischen und chemischen Wirkung von Proteinen, z.B. Enzymen, Signalstoffen oder Rezeptoren, liegt in der Analyse ihrer dreidimensionalen Struktur und ihrer spezifischen Wechselwirkung mit anderen Molekülen. Die Kenntnis der Proteinstruktur und der spezifischen Struktur-Wirkungs-Mechanismen eröffnet die Möglichkeit der gezielten Veränderung und langfristig vielleicht sogar der gezielten Neukonstruktion von Proteinen. Damit lassen sich Proteine mit maßgeschneiderten Eigenschaften für biotechnische oder medizinische Anwendungen herstellen.

Die experimentelle *Strukturaufklärung* sowie die Modellierung und Simulation mit dem Ziel der Vorhersage von Strukturen und die Analyse von Struktur-Wirkungs-Mechanismen sind von grundlegender Bedeutung für die biologischen Wissenschaften und deren Anwendung in der Biotechnologie. Diese Methoden müssen für eine breite Anwendung in Wissenschaft und Technik weiterentwickelt und eingeführt werden. Ebenso besteht ein Bedarf an in diesen Methoden ausgebildeten Fachleuten.

Im Bereich des *Molecular Modelling* besteht in der Bundesrepublik Deutschland bei den Ausbildungs- und Forschungskapazitäten immer noch ein deutlicher Nachholbedarf im Vergleich zu anderen westlichen Industrienationen. Von besonderer Bedeutung ist die Zusammenarbeit von Experimentatoren, Theoretikern und Datenverarbeitungsspezialisten aus Grundlagenforschung und Industrie.

Der *Einsatz von Hochleistungsrechnern* in Verbindung mit hochauflösenden Grafiksystemen ermöglicht nicht nur die Darstellung der Struktur komplexer biologischer Makromoleküle (Molecular Modelling), sondern auch die Simulation dynamischer Prozesse und der Wechselwirkung mit anderen Molekülen. Das Fernziel der Vorhersage von Raumstrukturen aus der Primärsequenz von Proteinen bedarf der Entschlüsselung des sog. "Faltungscodes" und ist von größter Bedeutung für künftige Anwendungen des "Protein Designs", also des Umbaus oder der Neukonstruktion von Proteinen für spezifische biotechnische Funktionen.

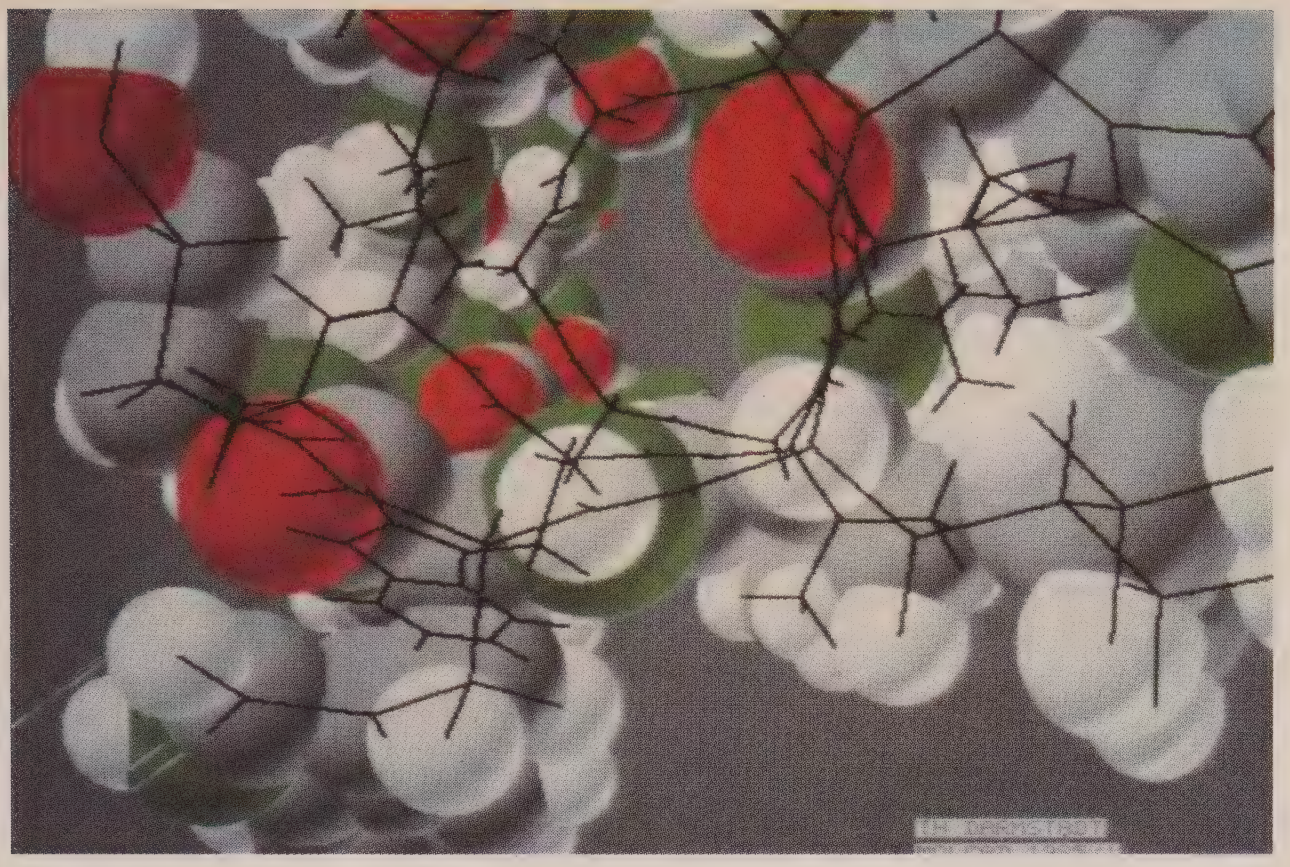


Abb. 42: Molecular Modelling

Zum Methodenspektrum des Protein-Designs gehören auch molekularbiologische Techniken zur Herstellung von veränderten Proteinen sowie die Peptidsynthese.

Gegenstand der künftigen Förderung sind Projekte, die Beiträge zur Weiterentwicklung und Etablierung der Methoden zur Strukturanalyse und dem Molekular Modelling leisten. Vorrang haben daneben Vorhaben zur Simulation von Struktur und Dynamik komplexer Moleküle sowie Methoden zur speziellen Veränderung oder Neukonstruktion von Proteinen.

5. Neurobiologische Forschung

Im Zusammenhang mit technischen Entwicklungen auf dem Computersektor, aber auch wegen der langfristigen Möglichkeiten, zu einem Verständnis der biologischen Zusammenhänge von Sprache und von Denken zu kommen, sind Untersuchungen *zur Funktion des Gehirns* für die Zukunft von größter Bedeutung. Diese Forschungsrichtung hat in Deutschland zwar eine lange Tradition, durch neuere physikalisch-chemische Untersuchungsmethoden erfährt das Gebiet jedoch seit Mitte der achtziger Jahre neue Impulse. Die Bedeutung zeigt sich in den USA, wo in der letzten Zeit neue gro-

ße Forschungsstätten gegründet wurden, die sich ausschließlich der Erforschung und Analyse der integrierten Leistung des Gehirns widmen sollen. Von einem systemanalytischen Ansatz aus werden interdisziplinär (Neurophysiologie, experimentelle Psychologie, Verhaltensforschung u. a.) Fragen der Mustererkennung, des Verarbeitens und Speicherns von Informationen und andere Leistungen des Gehirns bearbeitet. Dies ist auch die Zielvorstellung des 1988 gestarteten BMFT-Verbundprojektes "Informationsverarbeitung in neuronaler Architektur", das sich mit der informationstheoretischen Seite neuronaler Probleme beschäftigt (vgl. Zukunftskonzept Informationstechnik der Bundesregierung).

Die medizinische Forschung wird in den nächsten Jahren besonders vom Fortschritt in der molekularbiologischen Erforschung der Bestandteile des Nervensystems Nutzen ziehen. Die Aufgaben konzentrieren sich auf die Untersuchung neuronaler Strukturen, ihrer molekularen Bestandteile und ihrer Funktionen. Die Ergebnisse sollen auch Aufschluß über Fehlentwicklungen des Nervensystems geben, die sich in unterschiedlichen Krankheitsformen äußern. Die Kenntnis der Ursachen dieser Erkrankungen einschließlich altersbedinger Veränderungen liefert zudem Ansätze für verbesserte medizinische Diagnose- und Therapiemöglichkeiten.

Die breite Förderung neurowissenschaftlicher Grundlagenvorhaben ist nicht Absicht des BMFT. Sie wird von anderen Forschungsorganisationen (z. B. MPG, DFG) in ausreichender Weise wahrgenommen. Institutionell im Bereich der Großforschung

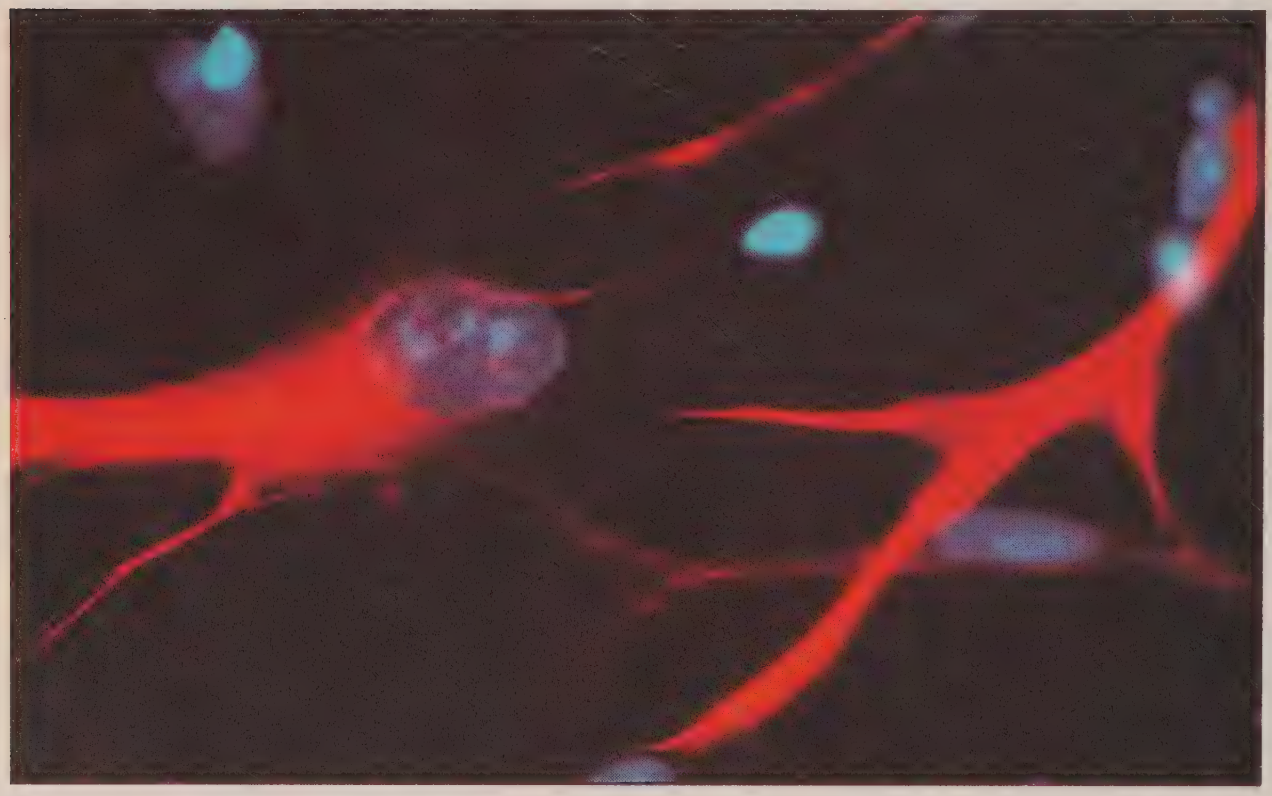


Abb. 43: Kultur von Zellen aus dem optischen System eines Fisches. Diese sogenannten Gliazellen spielen bei der Regeneration von Nervenfasern eine wichtige Rolle.

hat das Forschungszentrum Jülich diese Thematik aufgegriffen. Dieses Programm soll vielmehr in ganz bestimmten, hochinnovativen Bereichen die Forschung verstärken und die Nachwuchssituation verbessern.

Bestimmte Stoffe, sogenannte neurotrophe Faktoren sind notwendig, um das Nervenwachstum zu gewährleisten. Bisher war ein solcher Nervenwachstumsfaktor für das periphere Nervensystem bekannt. Kürzlich ist es gelungen, auch einen Wachstumsfaktor zu finden, der im zentralen Nervensystem, also im Gehirn und im Rückenmark, wirkt. BDNF (brain-derived neurotrophic factor) spielt, so vermutet man, eine Rolle bei der Regeneration von Verletzungen und bei degenerativen Erkrankungen des Gehirns. Die Funktion soll mit gentechnischen Methoden aufgeklärt werden.

Mit der Biotechnologieförderung wurden im Jahr 1989 zehn Projektgruppen für vorzugsweise jüngere hochqualifizierte Nachwuchswissenschaftler eingerichtet.

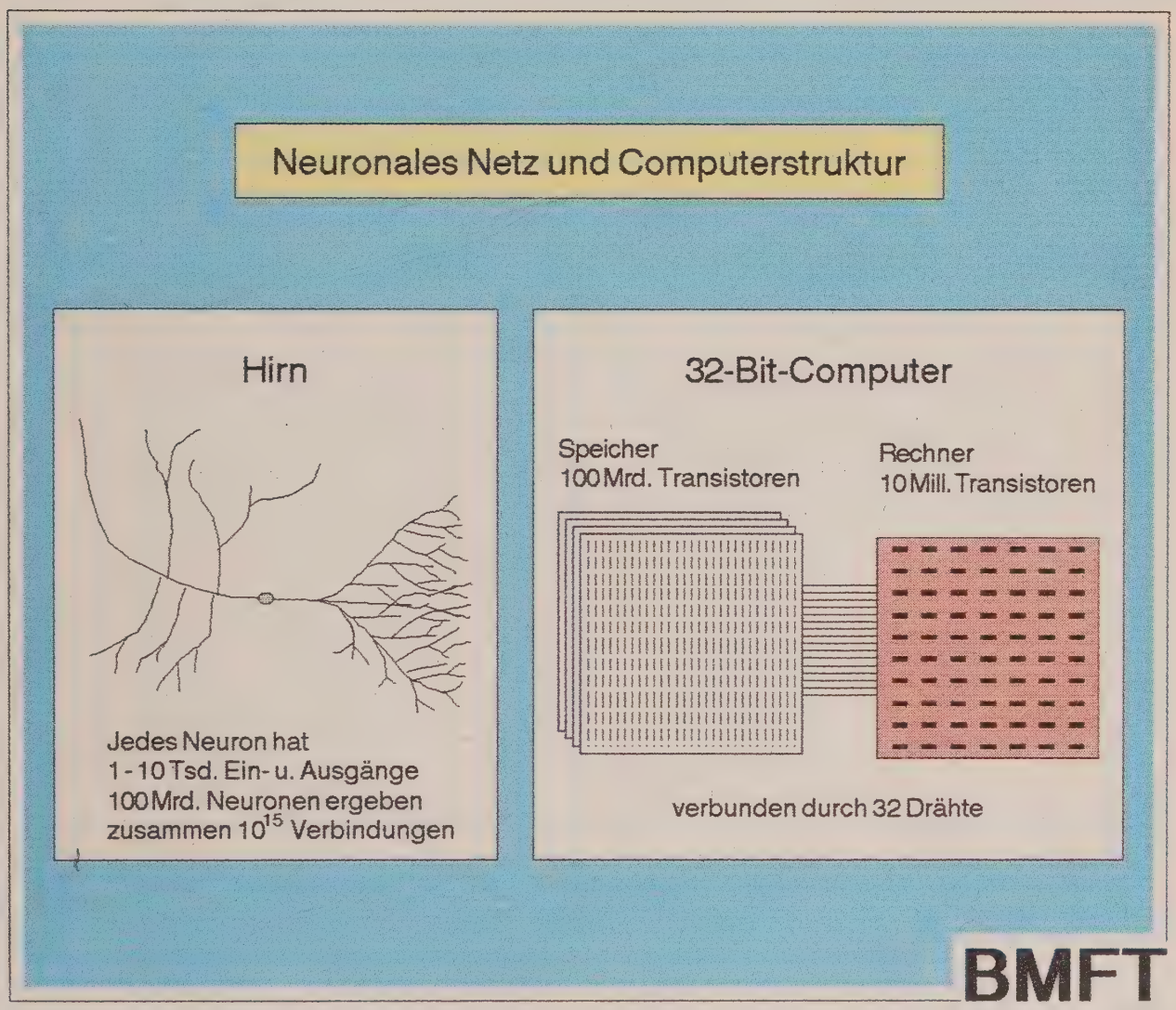


Abb. 44

Unter Einbeziehung der Erfahrungen mit den eingerichteten Projektgruppen wird geprüft, in welchem Umfang und in welcher Form dieses Instrument der Förderung erweitert werden soll. Das Schwerpunktprojekt "Zentrum für molekulare Neurobiologie" in Hamburg soll mittelfristig weitergefördert werden. Zur Intensivierung methodischer und theoretischer Kenntnisse sollen in geeigneter Form Kurse durchgeführt werden, die unter der Anleitung international renommierter Wissenschaftler stehen sollen.

6. Biologische Systeme

Biologische Systeme sind in der Regel hochkomplexe Systeme, d. h. ihre jeweiligen Struktur-/Funktionsbeziehungen wirken in übergeordneten Regelkreisen zusammen. Um die Zusammenhänge in solchen Systemen zu erfassen, war es bisher üblich, die Komplexität zu vernachlässigen und lineare Vorgänge herauszunehmen, z. B. einzelne Stoffwechselwege. Das vollständige System eines lebenden Organismus oder seiner komplexen Umwelt hat aber eine *eigene Qualität*, die mehr ist als die Summe der linearen Vorgänge.

Eine besonders interessante und wichtige Frage für die Biotechnologie ist, wie und unter welchen Bedingungen Evolution abläuft. Aufgrund theoretischer Überlegungen kann man im Rahmen von Forschungsvorhaben zu einer evolutiven Biotechnologie steuerbare Evolutionsbioreaktoren entwickeln und erproben, in denen modellhaft Mikroorganismen einem bestimmten Selektionsdruck ausgesetzt werden. Ein fundamentales Verständnis dieser Selektionsprozesse, das mit diesen Versuchen erreicht werden soll, ist letztlich notwendig für eine Optimierung von biotechnischen Prozessen und das Verständnis ökologischer Systeme.

Ein wichtiges Ziel solcher Untersuchungen ist es z. B., die Funktion von biologischen Systemen auf allgemeine Eigenschaften wie Regelung, Selbstorganisation und -reproduktion, Informationsspeicherung und -verarbeitung zurückzuführen, die der Funktion eines Computers und des menschlichen Gehirns gemeinsam sind (Biokybernetik).

Es sollen Projekte gefördert werden, die interdisziplinäre Ansätze umfassen, biologische Systeme zu untersuchen, ohne sie zu linearisieren und ohne auf der Ebene der Phänomenbeschreibung zu verbleiben. Das Spektrum möglicher Untersuchungsobjekte ist sehr breit: neuronale Netze, Ökosysteme, Populationsdynamik, Mischfermentation etc..

Abb. 45: Neuronales Netzwerk

7. Pflanzenzüchtung, Phytomedizin und Pflanzenschutz

Das verfügbare Instrumentarium der Pflanzenzüchtung hat durch die großen Fortschritte der Molekular- und Zellbiologie eine bedeutende Erweiterung erfahren. So ist heute durch Überwindung natürlicher Kreuzungsbarrieren eine Erweiterung von Genotypen und eine wesentlich effizientere Selektion möglich.

Die moderne Züchtung nutzende Pflanzenproduktion zielt nicht nur auf ertragreiche und qualitativ hochwertige, sondern gleichzeitig auf die Erzeugung gesunder Pflanzen. Pflanzengesundheit ist erreichbar durch genetisch verankerte Resistenz und chemischen/biologischen Pflanzenschutz sowie deren Zusammenwirken.

Die konventionelle Resistenzzüchtung ist arbeits- und zeitaufwendig sowohl hinsichtlich der Erstellung von Variabilität als auch hinsichtlich der Selektion. Biotechnische Verfahren können die Effizienz klassischer Züchtung erheblich steigern; die Verfahren sind aber bisher meist nur modellhaft entwickelt. Für einzelne Kulturarten und Krankheiten werden spezifische Strategien benötigt; es besteht daher ein hoher kulturartenspezifischer und krankheitsspezifischer Forschungsbedarf.

Mittelfristig kann erwartet werden, daß die praktische Anwendung der Genomanalyse durch RFLP (Restriktions-Fragment-Längen-Polymorphismus) in den Pflanzenzuchtbetrieben ergänzt wird durch Gendiagnose, Genisolation und Gentransfer.

Es sollen vorrangig die folgenden Ziele bearbeitet werden:

- Entwicklung von Strategien für Krankheitsresistenz;
- Entwicklung molekularer Marker für agronomisch wichtige Eigenschaften; genetische und physiologische Analyse der Nährstoffeffizienz von Kulturpflanzen und Nutzung von Symbiosen unter dem Aspekt der Nährstoffaufnahme;
- gezielte genetische Veränderung von primären Stoffwechselprodukten, um eine bessere industrielle Verwertung agrarischer Rohstoffe zu gewährleisten;
- Steuerung von Entwicklung und Funktion pflanzlicher Zellen.

Um diese Ziele zu erreichen, werden insbesondere die folgenden Ansätze verfolgt:

- Erweiterung der Variabilität von Genkombination durch zellbiologische und gentechnische Methoden,
- Einsatz zellbiologischer Verfahren zur Genotypendifferenzierung,
- Züchtung mit molekular kartierten Genomen und identifizierten Genen.

Molekularbiologische Methoden werden eingesetzt, um die Überprüfbarkeit von Züchtungsergebnissen zu erleichtern. In diesem Zusammenhang ist z. B. die Aufklärung bestimmter Krankheitsresistenzen - z. B. die Mehltauresistenz - und darauf aufbauend deren Nutzung in der Züchtung von Bedeutung.

Mit Forschungsarbeiten zu den symbiotischen Wechselwirkungen zwischen Mikroorganismen und Kulturpflanzen wird die Ertragssteigerung und Pflanzengesundheit be-

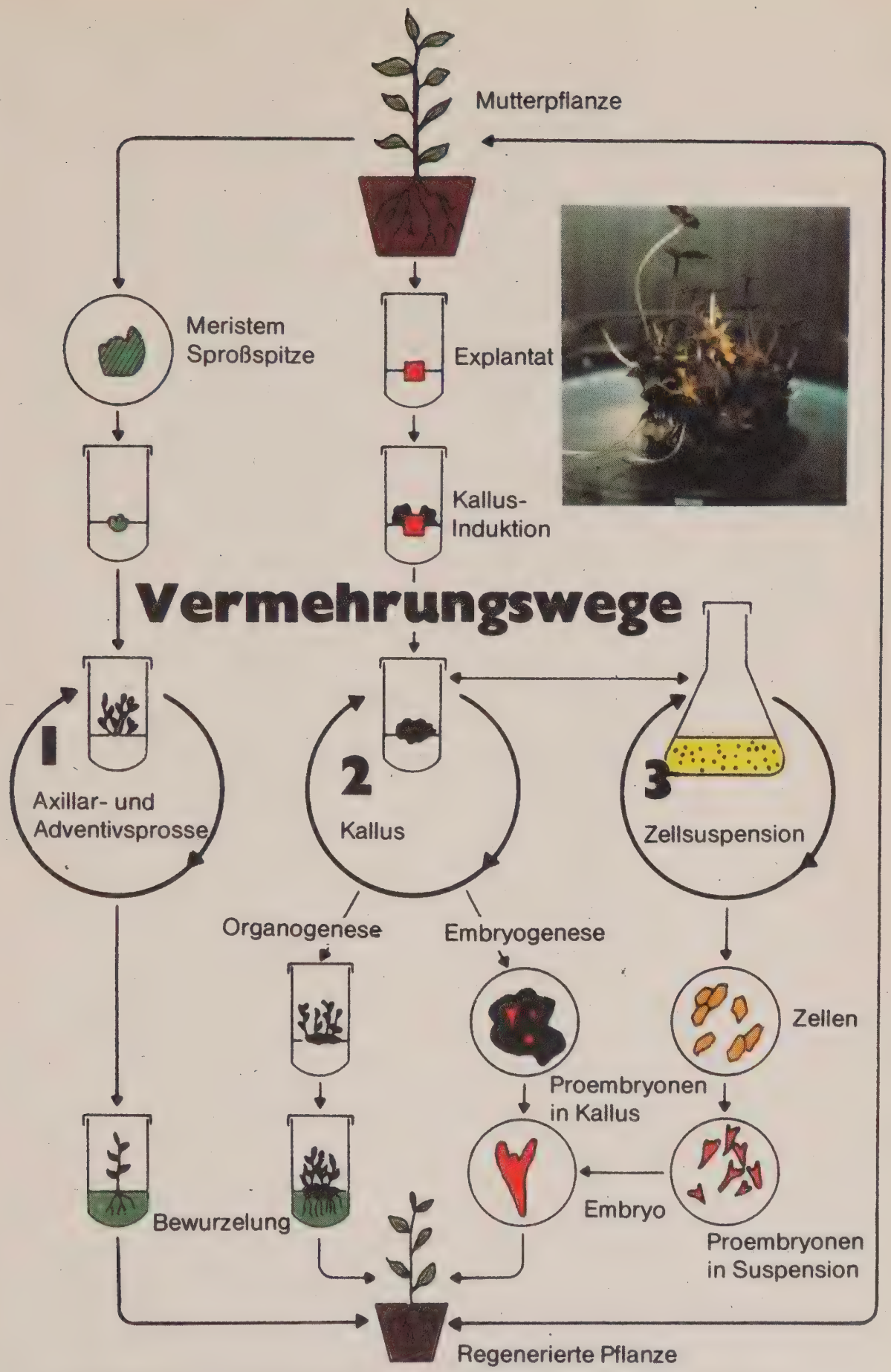


Abb. 46: Schematische Darstellung der vegetativen Vermehrung durch Gewebekulturen

sonders untersucht. So können z. B. bestimmte Bakterien die Oberfläche von Pflanzenwurzeln besiedeln und auf diese Weise bodenbürtige Erreger von Pflanzenkrankheiten zurückdrängen. Eine Konzentration der Arbeiten auf die Komponenten Stärke/Kohlehydrate und Öle/Fette ist vorgesehen. Der Komplex Qualitätsertrag setzt sich aus den Komponenten Pflanzenproduktivität, Pflanzengesundheit und Produktqualität zusammen. Das verfügbare biotechnologische Methodenspektrum wird genutzt, um essentielle Qualitätsparameter und eine Optimierung der Züchtungsverfahren und damit die Sortenentwicklung zu gewährleisten.

Eine wirtschaftliche Pflanzenproduktion ist ohne den Schutz von Pflanzenbeständen vor Krankheiten, Schädlingen, Unkräutern und abiotischen Belastungen nicht möglich. Allerdings hat sich in den vergangenen Jahren immer mehr gezeigt, daß trotz zweifellos großer Erfolge bei der Verminderung von Ertragseinbußen diese Aufgabe durch den chemischen Pflanzenschutz allein nicht gelöst werden kann. *Biologische Pflanzenschutzverfahren* können eine sinnvolle Ergänzung bieten und darüber hinaus die Belastung der Böden mit Chemikalien senken und somit einen Beitrag zu einem umweltverträglichen Pflanzenschutz leisten.

Im Pflanzenschutzgesetz vom 15.09.1986 wird die Forderung nach weitgehender Schonung der Umwelt und des Naturhaushalts deutlich: "Integrierter Pflanzenschutz ist eine Kombination von Verfahren, bei denen unter vorrangiger Berücksichtigung biologischer, biotechnischer, pflanzenzüchterischer sowie anbau- und kulturtechnischer Maßnahmen die Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel auf das notwendige Maß beschränkt wird". Die Suche nach biologischen Wirkprinzipien und biologischen Pflanzenschutzverfahren wird seit vielen Jahren durch das Biotechnologieprogramm gefördert. In Teilbereichen, so z.B. bei der Anwendung von Pheromonen, sind praxisnahe Verfahren entwickelt worden.

Die breite Anwendung biologischer Pflanzenschutzverfahren scheitert bisher aber weitgehend an ökonomischen Problemen, an rechtlichen Unsicherheiten bei der Zulassung und an Problemen der praktischen Handhabbarkeit. So sind für den Anwender spezielle Kenntnisse über den zu bekämpfenden Schädling und die einzusetzenden biologischen Pflanzenschutzmittel erforderlich.

Im Zentrum der Forschungsförderung zur Pflanzenzüchtung und zum Pflanzenschutz stehen die Resistenzforschung im Hinblick auf Pflanzenkrankheiten und Schädlingsbefall, der Einsatz molekularbiologischer Methoden und der Gentechnik zur Aufklärung der Pflanzenphysiologie, um das biologische Synthesepotential der Pflanzen bei der Nahrungsmittelproduktion und bei der Produktion

Abb. 47: Regenerierter Buchensproß

industriell einsetzbarer Rohstoffe besser nutzen zu können, u. a. unter sogenannten Streßbedingungen (Trockenheit, Salzgehalt, Hitze/Kälte).

Für den biologischen Pflanzenschutz ist eine Bestandsaufnahme durchgeführt und veröffentlicht worden, an dem Wissenschaftler, Unternehmen, Anwender und Beratungseinrichtungen sowie Zulassungsstellen beteiligt waren. Pflanzenschutz wird zukünftig integraler Bestandteil der vom BMFT geförderten Pflanzenzüchtung sein.

8. Nachwachsende Rohstoffe

Landwirtschaftlich erzeugte Rohstoffe wie Zucker, Fette, Öle, Stärke und Zellulose bieten über den Nahrungsmittelbereich hinaus eine breite Palette industrieller Grundstoffe und Produkte von Zellstoff über Proteine bis hin zu pharmazeutisch oder biologisch wirksamen Substanzen. Die Chemische Industrie in der Bundesrepublik Deutschland deckt heute bereits 10 % ihres Rohstoffbedarfs mit diesen 'Nachwachsenden Rohstoffen'. Insbesondere pflanzliche Rohstoffe bieten neben einem hohen Diversifikationsgrad der Inhaltsstoffe den Vorteil, die Syntheseleistung der Natur zum Aufbau hochmolekularer Strukturen gezielt zu nutzen, diese über die Pflanzen-

Verwendungsmöglichkeiten nachwachsender Rohstoffe
Produktionslinie
Zucker
Öle und Fette
Heil- und Gewürz-pflanzen
chemische Grundstoffe
Naturfasern
Zellstoffe
Bau- und Werkstoffe
Brennstoffe
Treibstoffe
Arzneimittel
Stärke
Pflanzen-fasern
Holz
BMFT
Biotechnologie 2000

Abb. 48

züchtung produktspezifisch zu steuern oder Stoffe mit hoher Wertschöpfung zu produzieren. Damit erschließen sich im Nicht-Nahrungsmittelbereich Produktions- und Verwendungsalternativen für einheimische Agrarerzeugnisse. Der Industriepflanzenanbau eröffnet der Landwirtschaft neue Märkte.

Im Rahmen des Biotechnologie-Programms sind alle BMFT-Aktivitäten, die der Land- und Forstwirtschaft Produktionsalternativen im technisch-industriellen Sektor eröffnen sollen, programmübergreifend in dem Förderschwerpunkt "Nachwachsende Rohstoffe" zusammengefaßt. Dies reicht von der angewandten Pflanzenzüchtung über die Gewinnung von Industriegrundstoffen bis zur Nutzung von Biomasse als Energieträger.

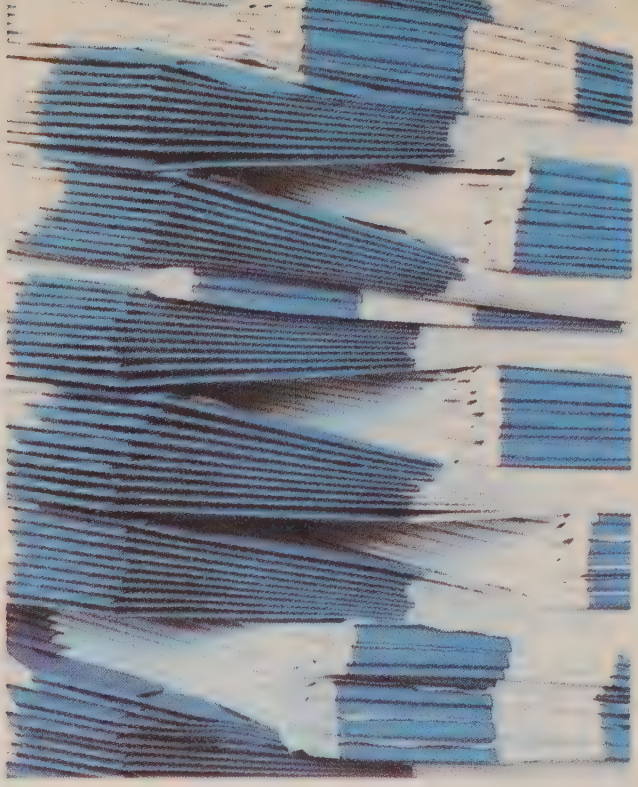
Die Schwerpunkte der Forschungs- und Entwicklungsprojekte sind zwar bei BML und BMFT unterschiedlich gesetzt, beziehen aber jeweils die ganze Bandbreite ein. BMFT setzt Schwerpunkte bei unkonventionellen Züchtungsmethoden, neuen Verfahren zur Nutzung pflanzlicher Stoffe und bei der Grundlagenforschung in der Fett- und Kohlenhydratchemie. Die Verbesserung konventioneller und Übertragung praxisreifer unkonventioneller Verfahren bei Züchtung, Anbau und Aufschluß von Pflanzen, die Untersuchung von Verwendungsmöglichkeiten, Marktpotentialen und ökonomischen Rahmenbedingungen der nachwachsenden Rohstoffe sowie die Untersuchung der ökologischen Auswirkungen von Anbau und Konversion sind Förderbereiche des BML.

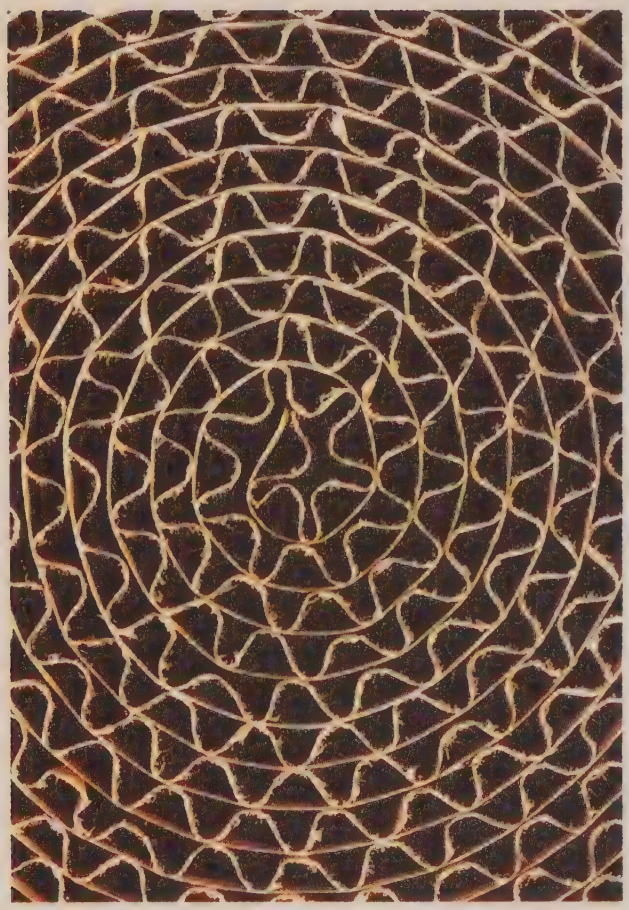
Die Forschungsförderung der Bundesregierung zu 'Nachwachsenden Rohstoffen' erfolgt in Abstimmung mit Verbänden, Wissenschaftsorganisationen und der Industrie. Sie zielt auf die Verbreiterung des Grundlagenwissens und die Prüfung kurz- und mittelfristiger Umsetzungsmöglichkeiten bei besonders erfolgversprechenden Anwendungen pflanzlicher Stoffe. Dabei wird die integrale Nutzung eines Agrarproduktes ebenso angestrebt wie eine ökonomische und ökologische Gesamtbetrachtung über die Technikfolgen.

Vorrangig gefördert werden solche Entwicklungslinien, die über einen wesentlichen Forschungsbedarf hinaus noch folgende Anforderungen erfüllen:

- **Anbaumöglichkeit in Mitteleuropa**
- **flächenmäßig interessantes Anbaupotential**
- **Zukunftsperspektive aus ökonomischer Sicht**
- **Industrieinteresse am Produkt (Marktpotential)**
- **positive Umweltauswirkungen**
- **eine Verdrängung eines herkömmlichen Agrarrohstoffes.**

Papiersäcke





Wellpappe

Gipskarton

Abb. 49: Stärkehaltige Industrieprodukte

Chemische Grundstoffe aus Ölen und Fetten bzw. Zucker, Stärke und Zellulose

Die Chemische Industrie der Bundesrepublik Deutschland setzt bereits heute Öle und Fette sowie Zucker, Stärke und Zellulose in einer Größenordnung von 1,8 Mio t ein. Auch Holz (Lignozellulose) als Rohstoff hat ein beträchtliches Potential zur Produktion von Chemiegrundstoffen. Grundlegende Voraussetzung für neue Impulse zum vermehrten Einsatz von Agrarrohstoffen in der Chemischen Industrie ist die Verstärkung der seit den 50er Jahren zugunsten der Petrochemie vernachlässigten Grundlagenforschung auf den Gebieten der Kohlenhydrat- und Oleochemie vor allem auch im Bereich der Hochschulen.

Ein erhebliches Entwicklungspotential besteht im Bereich der Pflanzenzüchtung. Dabei wird angestrebt, pflanzliche Inhaltsstoffe den Erfordernissen der Industrie anzupassen, z. B. durch Züchtung von Raps mit optimierter Fettsäuresyntheseleistung und gezielter Fettsäurezusammensetzung. Eigenschaften der Pflanzeninhaltsstoffe müssen analysiert und beschrieben werden, neue Einsatzmöglichkeiten erprobt sowie kostengünstige und umweltschonende Verfahren zur großtechnischen Gewinnung chemischer Grundstoffe ausgearbeitet werden. Aus diesen Grundstoffen zu entwickelnde Produkte lassen ein günstiges Abbauverhalten in der Umwelt erwarten.

Es werden Vorhaben gefördert, die zum Ziel haben, pflanzliche Inhaltsstoffe den Erfordernissen der Industrie anzupassen, sie zu analysieren und ihnen neue Einsatzmöglichkeiten zu eröffnen. Beispiele sind Raps, Cuphea, Lein und andere aussichtsreiche ölproduzierende Pflanzen.

Holz und Holzwerkstoffe

Die Forst- und Holzwirtschaft stellt in der Bundesrepublik Deutschland einen bedeutenden Wirtschaftsfaktor dar. Die breite regionale Streuung dieser Wirtschaftszweige und ihre mittelständische Struktur sind gerade in strukturschwachen ländlichen Gebieten ein wichtiger Faktor im Wirtschafts- und Sozialgefüge.

Durch die Entwicklung neuer Produkte und Produktionsverfahren - speziell auf Markt- und Verarbeiter- sowie Endverbraucheranforderungen zugeschnitten - soll die Holzverwendung im Bereich des Massivholzes und der Holzwerkstoffe ausgeweitet werden. Produkt- und Prozeßinnovationen bedürfen intensivierter langfristiger Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen. Das von der heimischen Forst- und Holzwirtschaft formulierte "Impulsprogramm Holz" zeigt einen zukunftsweisenden Weg auf.

Ergänzend hierzu konzentriert sich die eingeleitete Forschungsförderung auf spezielle Fragestellungen zur Forstpflanzenzüchtung und Holzerzeugung (konventionell, Schnellwuchsplantagen), Verbesserung der Holzeigenschaften und des Holzschutzes, der Prozeßtechniken und Verarbeitungsverfahren sowie der Verwertung von Holznebenprodukten und Holzreststoffen unter Beachtung des Umweltschutzes.

Naturfasern

Die Erzeugung pflanzlicher Fasern ist für die Bundesrepublik Deutschland auf Flachs (Faserlein) beschränkt. Sie umfaßt - nach Neuaufnahme des Flachsanbaus 1985 - ca. 2.000-2.200 ha und basiert, ebenso wie in Nachbarländern und weltweit, überwiegend auf veralteten, kostenintensiven und risikoreichen Verfahren der Ernte und Fasergewinnung. Um unter diesen Bedingungen Flachs anbauen zu können, sind erhebliche Erzeugerbeihilfen erforderlich, die von der EG-Kommission gewährt werden.

Für eine zukunftsorientierte Entwicklung von Anbau, Verarbeitung und Vermarktung von Flachs ist vor allem erforderlich, das Produktionsrisiko zu senken, die Effektivität der Verfahren zu erhöhen und die Wirtschaftlichkeit nachhaltig zu verbessern. Damit werden zugleich die Voraussetzungen geschaffen, am bestehenden Markt für Leinen-

Abb. 50: Flachsernte

produkte klassischer Art (Reinleinenerzeugnisse) besser partizipieren und künftige Marktsektoren im textilen (Mischgarne) und nicht-textilen Verwendungsbereich (wie z. B. Zumischkomponenten bei der Papier- oder Reibbelagindustrie oder der Faserzementindustrie) zu erschließen. Das sich so ergebende Absatzpotential in der Bundesrepublik Deutschland wird als erheblich veranschlagt.

Die Vielfalt der Anwendungsgebiete von Flachserzeugnissen und die Abhängigkeit der Wertschöpfung in nachgelagerten Verarbeitungsstufen von den Behandlungsergebnissen vorgelagerter Stufen bedingen eine sorgfältige horizontale und vertikale Abstimmung von FuE-Arbeiten. Sie umfassen Pflanzenzüchtung, Anbau, Ernte- und Verarbeitungstechnik, Faserbehandlung bis hin zum Einsatz in diversen Anwendungsbereichen und werden in interdisziplinärem Verbund durchgeführt.

Mit Hilfe von Forschung und Entwicklung soll ein neues Konzept auf der Basis kurzer Fasern zur Praxisreife entwickelt werden. Es sieht vor, mit leistungsstarker, moderner Erntetechnik vorentholzte Fasern diversen Vorbehandlungsverfahren zuzuführen, deren Produkte Einsatz finden können z. B. als Zumischkomponente bei der Garnherstellung für die Textilindustrie, in der Papier- oder Reibbelagindustrie, der Faserzementindustrie usw.. Das skizzierte moderne Verfahren verspricht Kostenvorteile und eine weitgehende Nutzung der in der Pflanze enthaltenen Fasern. Forschungs- und Entwicklungsvorhaben werden gefördert von der Pflanzenzüchtung/Anbau über die Entholzungs- und Erntetechnik, die Faservorbehandlung bis zum Einsatz in diversen Anwendungsbereichen.

Die Bundesregierung, unterstützt von einzelnen Bundesländern, fördert deswegen FuE-Arbeiten, die darauf abzielen,

- **die traditionellen Verfahren der Fasergewinnung zu verbessern und auf den heute möglichen Standard zu heben.**

- **neue Verfahren zu entwickeln, mit den Fasern für textile und nicht-textile Verwendungsbereiche erzeugt werden können.**

Energetische Nutzung von Biomasse

Biomasse kann grundsätzlich auf vielfältige Weise einer energetischen Nutzung zugeführt werden. Pflanzenarten, die vorwiegend Kohlenhydrate oder Öl speichern, sind zur Herstellung flüssiger Energieträger geeignet. Zucker und Stärke z. B. können zu Bioalkohol vergoren, in hohem Maße zellulosehaltige Pflanzen durch direkte Verbrennung oder über den Zwischenschritt Vergasung/Verflüssigung energetisch genutzt werden.

Die praktische Anwendung dieser Verfahren in größerem Umfang scheitert bisher an der mangelnden Wirtschaftlichkeit.

Forschung und Entwicklung bei der energetischen Nutzung dienen der Verbesserung der Wirtschaftlichkeit durch z. B. Selektion geeigneter Pflanzenarten mit hoher Massenproduktion und Pflanzenzüchtung zur Steigerung des Biomasseertrages, Entwicklung von Verfahren zur Reduzierung der Kosten für Anbau, Ernte, Lagerung und Brennstoffvorbereitung sowie geeigneter Feuerungssysteme unter Einhaltung der Immissionsrichtlinien.

Zum Thema Bioethanol hat eine umfassende Bestandsaufnahme der bisherigen Forschungsförderung ergeben, daß die bekannten Verfahren zur Gewinnung von Ethanol aus Biomasse so weit erforscht, entwickelt und teilweise im Pilotmaßstab erprobt sind, daß derzeit kein Bedarf für eine Ausweitung der Förderung gesehen wird. Die bisher vorliegenden Forschungsergebnisse im Bereich Rapsöl als Dieselkraftstoffersatz lassen erkennen, daß die Technik für die dezentrale Gewinnung auch die Verwendung von Rapsöl und Rapsölmethylester (RME) sowie der Nebenprodukte verfügbar ist. Förderungsbedarf besteht bei diesen Produktlinien daher nur noch bei der weiteren Ermittlung der Langzeittauglichkeit der Rapsöl-geeigneten Motoren und dem Vergleich ihrer Leistungsfähigkeit. Hierzu wird eine systematische, vergleichende Untersuchung der Eignung von Dieselmotoren für gereinigtes Rapsöl auf Motorprüfständen durchgeführt.

Über die technischen, organisatorischen und behördlichen Anforderungen an eine größere dezentrale RME-Gewinnungsanlage, ihre voraussichtlichen Investitions- und Betriebskosten und die Umweltauswirkungen liegt ein Bericht vor. Eine Strategie für die Verwendung und Vermarktung der Nebenprodukte wird entwickelt und der benötigte Subventionsbedarf errechnet.

Als Pflanzenöltreibstoff werden Rapsöl und Rapsölmethylester (RME) geprüft. Begrenzte Forschungs- und Entwicklungsaufgaben bestehen vor allem noch bei der Untersuchung der pflanzenzüchterischen Möglichkeiten zur Veränderung des Fettsäuremusters im Hinblick auf günstigere Verwendbarkeit des Rapsöls als Treibstoff (züchterische Bearbeitung von Energieraps), daneben bei der Optimierung von Umwandlungsverfahren unter Berücksichtigung der dezentralen Rapsabpressung und schließlich bei der Ausarbeitung und Bewertung von Konzepten und Technologien zur Nutzung von Pflanzenölen als Treibstoff.

9. Biologie von Entsorgungsverfahren

Die Biotechnologie kann durch Entwicklung neuer, umweltfreundlicher Produkte und Herstellungsverfahren hierzu einen wichtigen Beitrag zur Vermeidung schädlicher Emissionen leisten. Eine wesentliche Aufgabe ist dabei die *Entwicklung präventiver Entsorgungstechniken*, bei denen definierte, die Umwelt belastende Nebenprodukte von Produktionsprozessen unmittelbar weiter umgesetzt werden, ohne daß sie überhaupt in die Umwelt gelangen. Daß auf diese Weise die Rohstoffbasis vollständig ge-

nutzt und die Umweltverträglichkeit der Produktionsprozesse gesteigert wird, zeigen Verfahren zur Gewinnung von Biogas aus Molkepermeaten, aus Schweinegülle oder aus Ablaugen der Cellulose- und Stärkeherstellung.

Ebenso notwendig ist das bessere Verständnis und die Weiterentwicklung biologischer Verfahren zur *Behandlung von festen Abfallstoffen, Abluft und Abwasser*, wie sie etwa in kommunalen Kläranlagen angewendet werden. Die Isolierung von Organismen mit neuen erwünschten Fähigkeiten zur Schadstoffumsetzung, die Untersuchung der beteiligten Stoffwechselwege, die Aufklärung der genetischen Grundlagen und Regulationsmechanismen werden neue Einsatzgebiete für die Biotechnologie im Umweltschutz erschließen.

Darüberhinaus eröffnet die Biotechnologie neue Möglichkeiten zur Entsorgung toxischer Substanzen. In vielen Fällen läßt sich durch Einsatz von Mikroorganismen sogar ein vollständiger biologischer Abbau, also die Biomineralisierung von Schadstoffen, erreichen.

Durch gezielte Adaption an bestimmte Schadstoffe kann die Fähigkeit von Mikroorganismen, im Boden vorhandene und normalerweise nur schwer abbaubare Schadstoffe zu zersetzen, optimiert werden. Auch molekularbiologische Techniken lassen sich für solche Optimierungsverfahren einsetzen. Hierzu ist die Ausarbeitung der ver-

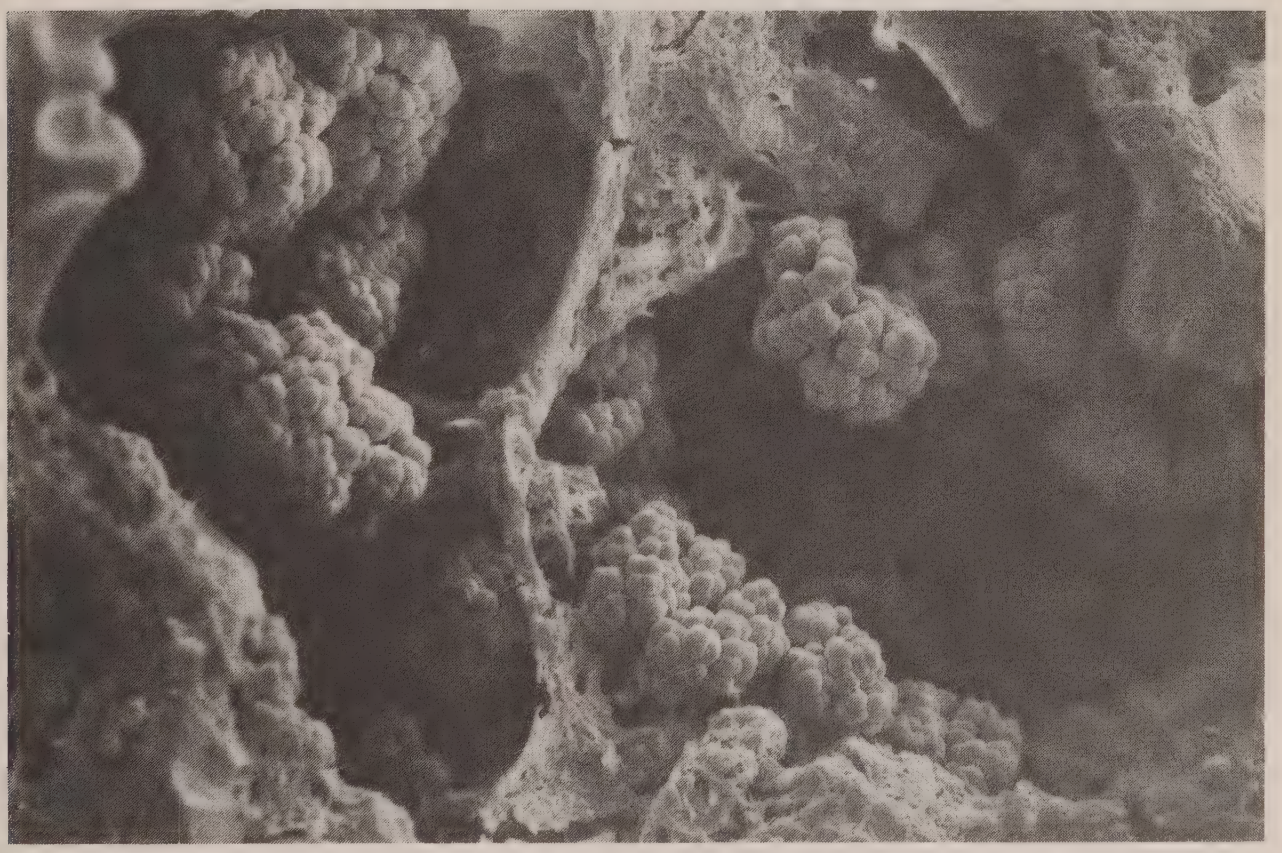


Abb. 51: Bakterien zur Umwandlung von Abfallessigsäure in Biogas (Methanosarcina barkeri)

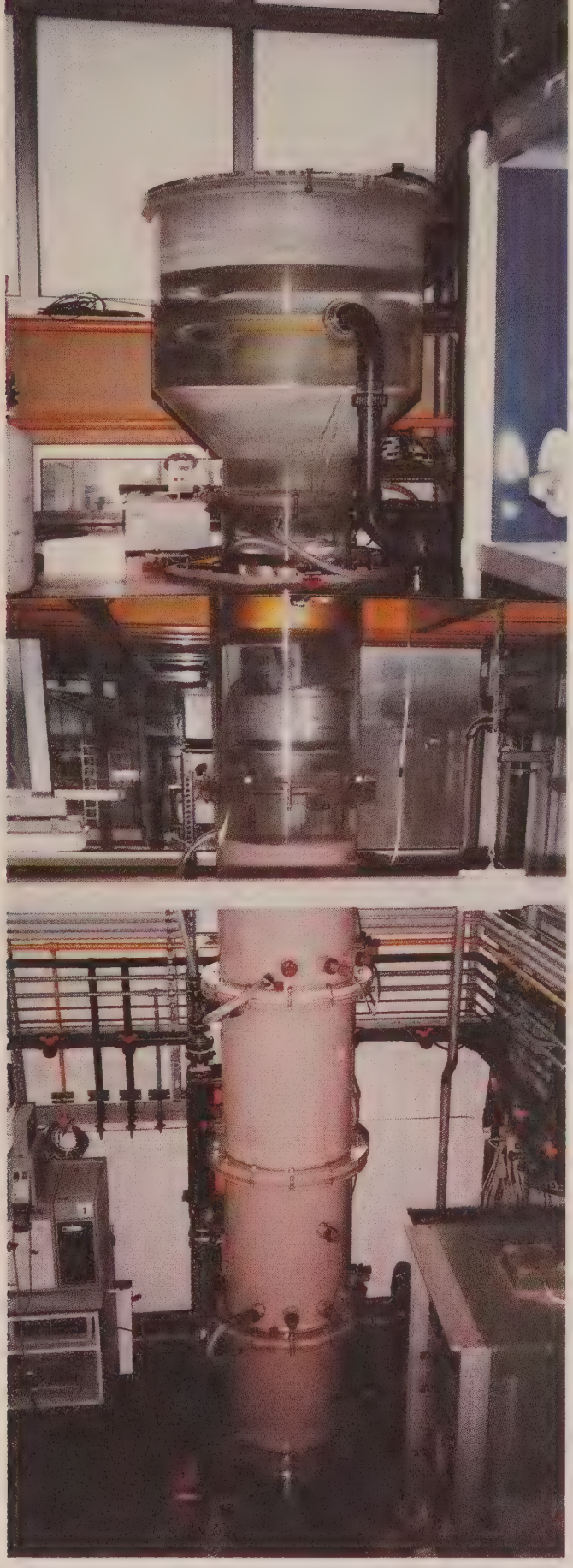
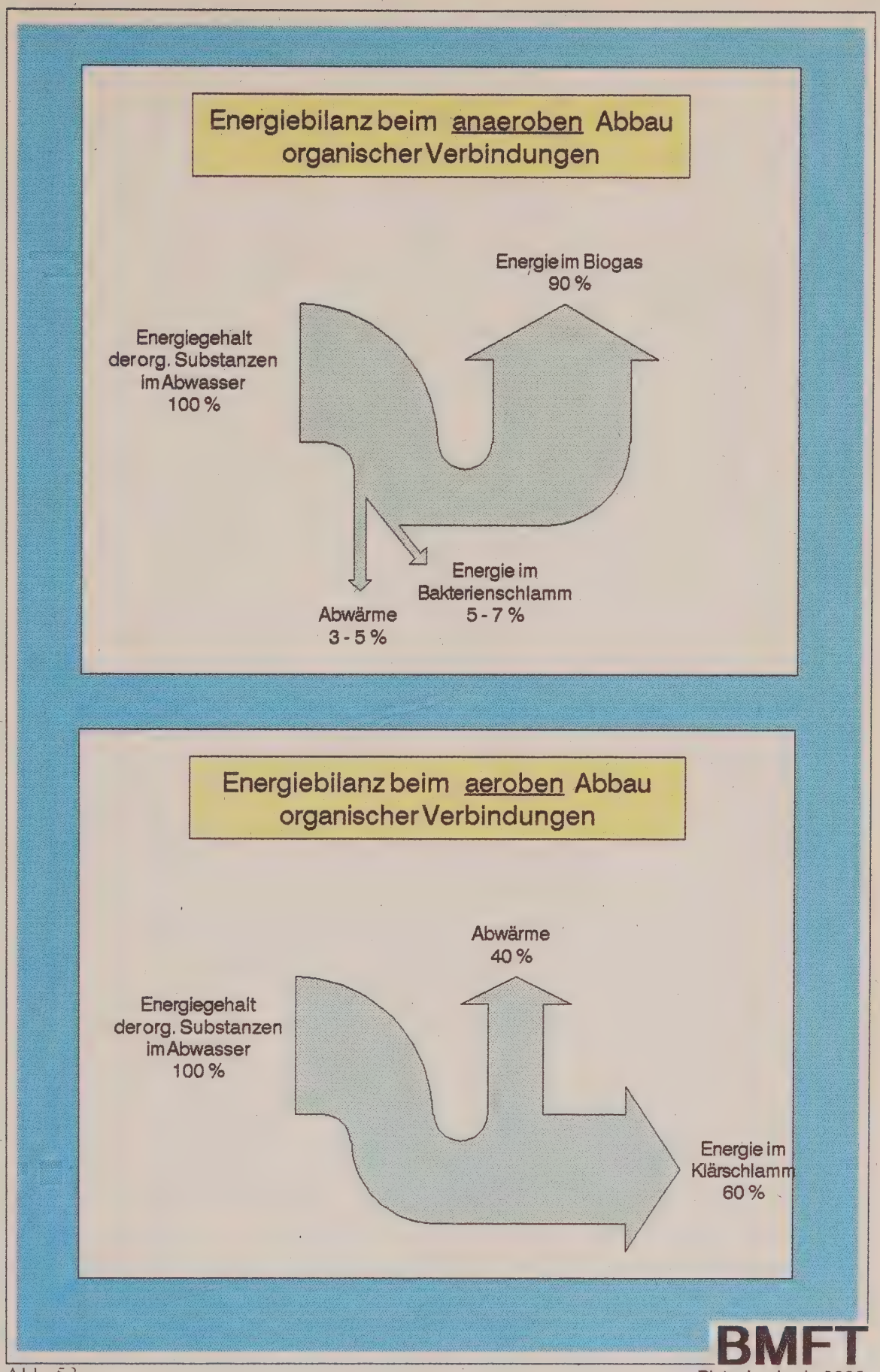


Abb. 52: Wirbelschichtreaktor für die Abwasserreinigung unter Bildung von Biogas (Pilotmaßstab 0,8 cbm)



BMFT
Biotechnologie 2000

Abb. 53

fahrenstechnischen Grundlagen für eine mögliche Anwendung erforderlich. Obwohl die "Reparatur" bereits eingetretener Umweltschäden nicht im Vordergrund der Förderpolitik stehen kann und auch nicht als Vorwand für geringeres Engagement bei der Entwicklung von Präventivmaßnahmen gelten darf, kann auf die Erforschung und Weiterentwicklung biotechnologischer Methoden und Verfahren für die Altlastensanierung nicht verzichtet werden.

Ein wichtiges Hilfsmittel für den Einsatz der Biotechnologie im Umweltschutz können *Monitoring-Verfahren* sein, die auf molekularbiologischen und mikrobiologischen Methoden aufbauen und mit denen sich Mikroorganismen und ihre Stoffwechselleistungen rasch und präzise identifizieren lassen. Dabei ergeben sich interessante Berührungspunkte mit Verfahren und Erkenntnissen aus dem Bereich der mikrobiellen Ökologie.

Im Rahmen des Biotechnologieprogramms werden die Entwicklung der methodischen und biologischen Grundlagen von biologischen Entsorgungsverfahren gefördert. Damit werden die Maßnahmen der Bundesregierung, die im Programm "Umweltforschung und Umwelttechnologie" dargelegt sind, wirkungsvoll ergänzt.

10. Ersatzmethoden zum Tierversuch

Tierexperimente werden in der biologisch-medizinischen Grundlagenforschung, bei der Suche nach neuen Wirkstoffen, zur Qualitätskontrolle von Produkten und zur Prüfung von Substanzen auf Verträglichkeit und Unbedenklichkeit eingesetzt. Für eine Reihe von Fragestellungen gibt es heute Ansätze, Testmethoden an schmerzfreien Systemen anstelle von Tierversuchen einzusetzen. Computergestützte Verfahren helfen, Tierversuche einzusparen. Die Verbesserung der wissenschaftlichen Versuchsplanung und -auswertung ermöglicht bei der toxikologischen Prüfung eine Verminderung der bisher üblichen Stichprobengröße und damit eine beträchtliche Einsparung von Versuchstieren. Für die weitere Verbesserung des Tierschutzes ist es von besonderer Bedeutung, daß diese Methoden aufgegriffen und wissenschaftlich verifiziert werden.

In den vergangenen Jahren hat der BMFT hierzu zahlreiche Projekte gefördert. Obwohl die Entwicklung von *In-vitro-Systemen* langwierig und kostspielig ist, zeigen die Forschungsergebnisse, daß sich Tierexperimente in gewissem Umfang durch solche Methoden ersetzen lassen. Die bisherige Förderung hat dazu beigetragen, daß Industrie und Hochschule dieses Thema aufgegriffen haben und mit neuer Sensibilität eigenständig weiterverfolgen.

Die bisherige Förderung hat vornehmlich Fragestellungen erfaßt, die sich besonders gut durch In-vitro-Methoden bearbeiten ließen. Die positiven Ergebnisse solcher Untersuchungen wirken sich aber nicht im erhofften Maß auf die Einsparung von Versuchstieren aus. Um bei der künftigen Förderung diesem Mangel abzuhelfen, hat der

BMFT in einer umfangreichen Datenerhebung bei Industrie und Hochschulen den Einsatz von Tieren in Forschung und Entwicklung ermitteln lassen.
Die Ergebnisse dieser Untersuchung verdeutlichen den Zusammenhang zwischen dem Tiermodell, der Anzahl der verwendeten Tiere, der Belastung des Tieres im Versuch und die mit diesem Versuch verfolgte Fragestellung. Neben dem Bemühen, die bisherigen Ergebnisse umzusetzen, werden ausgewählte Aspekte, die sich aus der Studie ergeben, künftig mit besonderer Intensität aufgegriffen.
Dazu gehören die pharmakodynamische Wirkungsfindung mit Betonung des Nervensystems und die Entwicklung neuer Chemotherapeutika zur Bekämpfung von Infektionskrankheiten. Weitere Schwerpunkte sind die Tumorforschung (Entwicklung neuer Zytostatika, Optimierung von Behandlungsprotokollen, Untersuchung der Metastasenbildung) und toxikologische Prüfungen.

Darüber hinaus wird die Weiterentwicklung erfolgreicher In-vitro-Ansätze gefördert. Hierbei kommt der Zusammenarbeit von Industrie und Hochschulen mit der neu eingerichteten *Zentralstelle zur Erfassung und Bewertung von Ersatz- und Ergänzungsmethoden für Tierversuche* (ZEBET) beim Bundesgesundheitsamt besondere Bedeutung zu. Erst wenn die Ersatzmethoden ihre allgemeine Anwendbarkeit und ihre Zuverlässigkeit unter Beweis gestellt haben, können diese Methoden bei der Überarbeitung von Prüfrichtlinien, etwa im Bereich der Arzneimittelsicherheit,

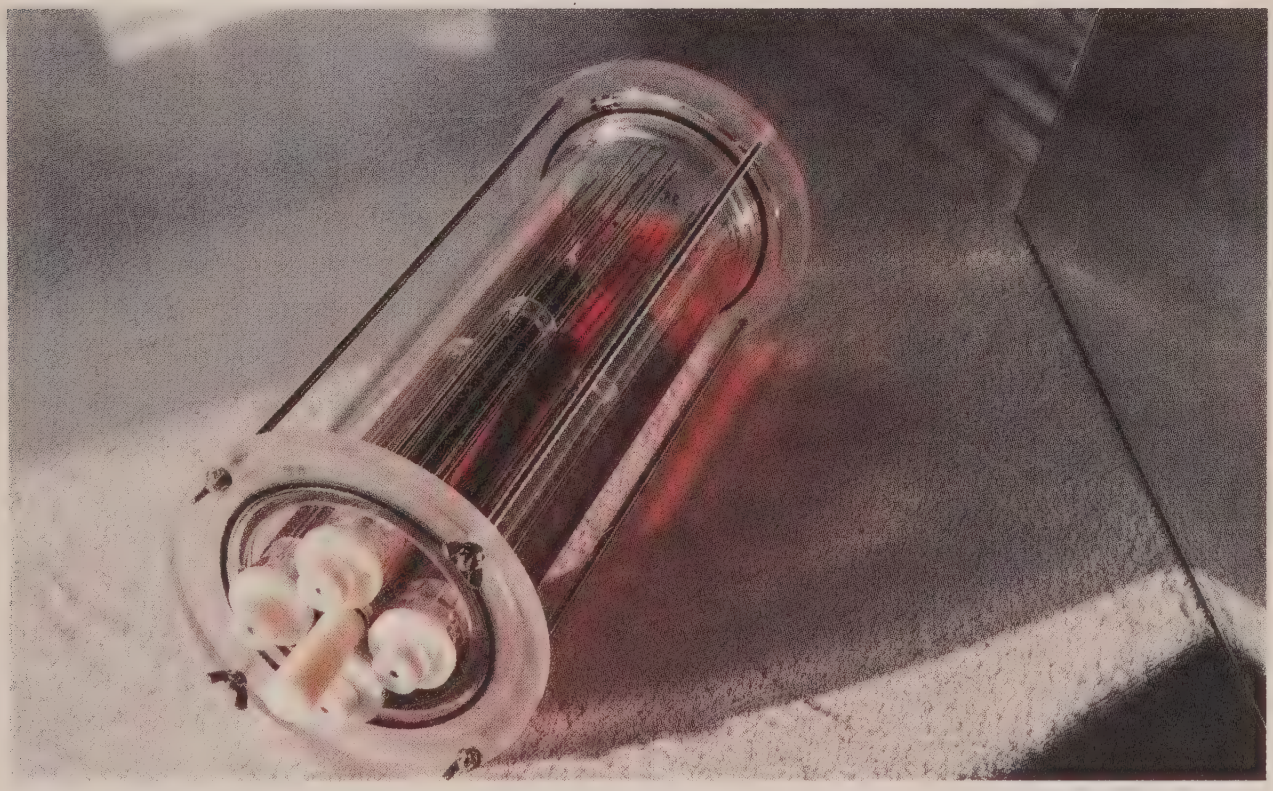


Abb. 54: Die "Glasmaus" zur Gewinnung von monoklonalen Antikörpern
In einem Gestell aus Glas und Plexiglas sind Dialyseschläuche angebracht, in denen bestimmte Zellen die Antikörper produzieren und in das Nährmedium abgeben. Anschließend werden die Antikörper aus dem Medium abgetrennt. Mit dieser Entwicklung ist es möglich, in bestimmten Fällen viele Versuchstiere (Mäuse) einzusparen.

berücksichtigt werden und sich generell in der Praxis von Forschung, Entwicklung und Prüfung durchsetzen.

Bevorzugt gefördert werden in Zukunft die Entwicklung von Ersatzmethoden für Tierversuche, bei denen die Tiere stark belastet oder bei denen besonders viele Tiere verwendet werden. Gefördert werden ferner Projekte, die sich um den In-vitro-Ersatz von Tierversuchen mit Primaten oder Großtieren bemühen. Auch für Tierversuche zur Erforschung von Strahleneinwirkungen und anderen physikalischen Einflüssen sollen Ersatzmethoden entwickelt werden. In Ringversuchen soll die Optimierung und Validierung von Ersatzmethoden vorangetrieben werden.

11. Biologische Sicherheitsforschung

Die Möglichkeit der Nutzung gentechnisch veränderter Organismen über die Forschung hinaus, z. B. zur Herstellung von Arzneimitteln und Diagnostika oder in der biotechnischen Produktion von Stoffen für den Gebrauch und die Weiterverarbeitung in der Chemie, aber auch in der Landwirtschaft, Lebensmitteltechnik oder zu anderen Zwecken hat zu neuen Fragen nach möglichen Gefahren für Beschäftigte, Verbraucher und Umwelt geführt. Kernfrage ist das Verhalten von bewußt oder unbewußt in die Umwelt gebrachten gentechnisch veränderten Organismen (GVO). Insbesondere wird dabei diskutiert, ob und unter welchen Umständen sich ein GVO in der Umwelt etabliert und nachhaltige negative Auswirkungen hervorrufen kann.

Um derartige Fragen frühzeitig zu erkennen und im einzelnen beantworten zu können sowie noch zuverlässigere Grundlagen zu ihrer Beantwortung zu schaffen, hat der BMFT 1987 ein erstes Förderkonzept zur biologischen Sicherheitsforschung vorgestellt, das 1990 überarbeitet und ergänzt wurde.

Schwerpunkte dieses Konzepts sind: die Fortentwicklung von *Sicherheitsmaßnahmen für geschlossene Systeme* sowie deren Validierung und Standardisierung. Ziel hierbei ist es, möglichst allgemeingültige Kriterien und Maßstäbe zu erhalten, um so auch einen schnellen, eindeutigen und möglichst unbürokratischen Vollzug gesetzlicher Vorschriften zu erreichen sowie biologische und technische Verfahren zu entwickeln, mit deren Hilfe - soweit erforderlich - die Einhaltung der erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen überprüft werden kann.

Ein weiterer Schwerpunkt dieses Konzepts ist insbesondere die Entwicklung allgemeiner Maßstäbe für den Umgang mit GVO außerhalb geschlossener Systeme und die Klärung damit zusammenhängender Fragen, z.B. nach Umfang und Bedeutung des sogenannten horizontalen Gentransfers, oder nach Kriterien für die Vorhersage des Verhaltens eines GVO in der Umwelt. Damit wird eine weitere Verbesserung der Beurteilungsmöglichkeiten von Freisetzungsvorhaben angestrebt.

Mit den Ergebnissen der nach diesem Konzept geförderten Arbeiten soll die Beantwortung von Fragen, die sich aus dem Umgang mit GVO ergeben, erleichtert werden. Das Verhalten natürlicher Organismen unterscheidet sich nicht prinzipiell von dem gentechnisch veränderter Organismen. Erfahrungen mit ihnen können und müssen daher auch zur Beantwortung von Fragen nach dem Verhalten von GVO mit herangezogen werden. Es ist allerdings nicht das Ziel des vom BMFT entwickelten Konzepts zur Förderung biologischer Sicherheitsforschung, Forschung zur Beantwortung aller denkbaren sicherheitsrelevanten Fragestellungen, die sich ganz generell aus dem Umgang mit Organismen ergeben können, zu fördern. Die sich ganz allgemein aus dem Umgang mit Organismen ergebenden Fragen müssen in anderem Zusammenhang untersucht werden.

Neben der Bearbeitung spezifischer *Fragen zur Sicherheit* beim Umgang mit GVO im Rahmen dieses Programmschwerpunkts werden zahlreiche Fragen zur Sicherheit in anderen Programmteilen, z. B. im Rahmen der Grundlagenforschung, aber auch der angewandten Forschung beantwortet. Ihre Beantwortung fällt (gewissermaßen als Koppelprodukt) bei primär nicht Sicherheitsforschung verfolgenden Arbeiten an. Die Ergebnisse werden auch in Zukunft zur Beantwortung der Fragen zur Sicherheit herangezogen.

Es kann darüber hinaus bei der Durchführung von Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, die im Rahmen des Biotechnologieprogramms oder anderer Programme des BMFT gefördert werden, notwendig und sinnvoll sein, Sicherheitsprobleme zu identifizieren und im Rahmen des betroffenen Projektes dann auch Lösungsvorschläge und Maßnahmen zu erarbeiten. Nur so kann gewährleistet werden, daß Sicherheit vor möglichen Gefahren gentechnisch veränderter Organismen auch weiterhin integraler Zielbestandteil jeder biologischen und gentechnischen Forschung und Entwicklung ist.

Internationale Kooperation in biologischen Sicherheitsfragen bis hin zur Entwicklung gemeinsamer Standards ist weiterhin unverzichtbares Ziel. Dies gilt insbesondere für Europa, denn nur einheitliche Anforderungen an die Sicherheit vermeiden Wettbewerbsverzerrungen und Behinderungen von Forschung und Entwicklung in einzelnen Partnerstaaten.

Die Fortentwicklung von Sicherheitsmaßnahmen für geschlossene Systeme einschließlich deren Validierung und Standardisierung werden gefördert. Für den Umgang von genetisch veränderten Organismen (GVO) außerhalb geschlossener Systeme sollen Fragen des horizontalen Gentransfers und Kriterien für die Vorhersage des Verhaltens von GVO in der Umwelt bearbeitet werden. Der internationalen Kooperation bei der Bearbeitung von biologischen Sicherheitsfragen und der Entwicklung gemeinsamer Standards insbesondere in europäischem Rahmen, wird hohe Priorität eingeräumt.

12. Technikfolgenabschätzung, Ethische Fragestellungen

Technische Entwicklungen, die von neuartigen, rasch wachsenden wissenschaftlichen Erkenntnissen abgeleitet werden, sollten stets systematisch auf ihre möglichen Folgen, insbesondere auch auf unbeabsichtigte Nebenwirkungen hin geprüft werden. Diese sorgfältige Prüfung bildet die Grundlage, Chancen und Gefahren des Einsatzes solcher Techniken verantwortlich gegeneinander abzuwägen. Hierfür werden Daten und Fakten auch über mit der Entwicklung einer Technik und ihrem Einsatz nicht bewußt und gewollt verfolgte, u. U. jedoch zwangsläufig verknüpfte Konsequenzen benötigt. Solches Wissen sowohl über die sinnvollen Nutzungsmöglichkeiten als auch zur Vermeidung von Gefahren für Menschen und Umwelt, zum Schutz vor schädlichen Auswirkungen zu ermitteln, bedarf methodischer Hilfsmittel wie der Technikfolgenabschätzung. Sie kann dazu beitragen, die sachrationalen Strukturen technischer Probleme offenzulegen, in dem sie zweierlei leistet:

Einmal muß sie in einer jeder Bewertung vorangehenden Phase entscheidungsrelevantes Wissen erarbeiten. Hierzu gehören Fakten, die die Beschreibung technischer Sachverhalte ebenso erlauben wie die Analyse von Wirkungen technischer Systeme auf Mensch, Gesellschaft und Umwelt sowie auch die detaillierte Erforschung technischer Risiken. TA-Forschung, Wirkungsforschung und Sicherheitsforschung müssen ausgebaut werden, um die Analyse- und Bewertungskapazität für Technikfolgenabschätzung zu verbessern.Einen wesentlichen Beitrag hierzu leistet auch das Forschungsförderkonzept "Biologische Sicherheitsforschung" des BMFT.

Zum anderen muß die TA, den Regeln eines rationalen Diskurses folgend, einen nachvollziehbaren Bewertungsprozeß organisieren, der auf eine ganzheitliche Betrachtung hin ausgerichtet ist. Dies gewinnt angesichts der Akzeptanzdiskussion zunehmend an Bedeutung. So verstanden, liefert Technikfolgenabschätzung insgesamt nicht nur das für forschungspolitische Entscheidungen erforderliche Wissen, sondern auch Orientierungswissen für jeden Bürger.

In der Biotechnologie wird beispielsweise bereits seit zwei Jahren eine umfassende TA-Studie zum Thema Nachwachsende Rohstoffe gefördert. Ziel des TA-Projekts ist eine methodisch sichere Abschätzung der ökonomischen, umweltbezogenen, sozialen und internationalen Implikationen verschiedener Szenarien für die Bundesrepublik Deutschland mit Bezug auf verschiedene Produktionslinien, die auf erneuerbaren Rohstoffen aus Land- und Forstwirtschaft basieren.

Untersuchte technische Verfahrenslinien sind die Herstellung und der Einsatz von Energieträgern, Chemierohstoffen und Rohstoffen für technische Verwendungszwekke aus Pflanzen, für die in der Bundesrepublik Deutschland hinreichend günstige Standortbedingungen bestehen.

Von Interesse sind ferner:

- die Ausarbeitung von alternativen Gesamtkonzeptionen zum Thema Nachwachsende Rohstoffe in der Bundesrepublik Deutschland und

- die Darstellung der Bedingungen und Auswirkungen einer Realisierung dieser Konzeptionen.

Dabei wird auf Gegebenheiten und Zukunftsperspektiven in den Bereichen Pflanzenzüchtung, Pflanzenbau, Be- und Verarbeitung der pflanzlichen Rohstoffe sowie Infrastruktur und Verwendung ausführlich eingegangen.

Bei der Herausarbeitung der Zukunftsperspektiven werden einerseits die Chancen für technische Fortschritte im Verlauf der nächsten 15 Jahre abgeschätzt, andererseits wird auf schwer prognostizierbare Entwicklungen äußerer Rahmenbedingungen, z.B. auf die Weiterführung der inländischen Agrarpolitik im Rahmen der EG-Agrarpolitik und auf die Entwicklung der Weltmarktpreise für konkurrierende Rohstoffe, eingegangen.

Unterschiedliche Strategievorstellungen sind eng verknüpft mit unterschiedlichen Vorstellungen oder Meinungen zu künftigen Entwicklungen der Agrarpolitik. Deshalb werden - ebenfalls mit Hilfe der Szenariotechnik - konkurrierende Strategien zur Entwicklung des Spektrums der "Nachwachsenden Rohstoff-Linien" im Sinne von Gesamtkonzeptionen für die nächsten 15 Jahre entworfen und hinsichtlich der Voraussetzungen, Begleit- und Folgewirkungen analysiert. Die TA-Studie wird voraussichtlich Ende 1991 fertiggestellt sein.

Künftig werden im Rahmen der Biotechnologieförderung neue TA-Themen als Begleituntersuchungen zu den geförderten Projekten oder neu in die Diskussion kommende Themen flexibel aufgegriffen. Beispiele, die sich abzeichnen, sind:
TA zur Herbizidresistenz gentechnisch veränderter Pflanzen und dem damit verbundenen Einsatz von Schädlingsbekämpfungsmitteln oder die Erhaltung des biologischen Artenschatzes; Untersuchungen zur Frage, ob durch optimierte, freigesetzte Organismen die Artenvielfalt eingeschränkt wird;
als weiteres Thema ist die Untersuchung des Gentransfers in Körperzellen zu therapeutischen Zwecken denkbar.

Ethische Fragestellungen

Auch in Zukunft wird die 1983 mit dem Fachgespräch über ethische und rechtliche Probleme der In-vitro-Fertilisation, Genomanalyse und Gentherapie begonnene, sukzessive Aufarbeitung der sich aus der biomedizinischen Forschung ergebenden Fragestellungen fortgesetzt. Nachdem in der Vergangenheit die Fragen der Fortpflanzungsmedizin national weitgehend abschließend behandelt wurden, wird angestrebt, nun auch international zu einer einheitlichen Bewertung und Haltung zu ge-

langen. Das Gleiche trifft auf Fragen der Anwendung gendiagnostischer Methoden am Menschen zu. Hier wird der im Europarat und mit der Konferenz der EG-Forschungsminister 1990 in Kronberg/Ts. begonnene Weg fortgesetzt. Auch die beiden auf Initiative des BMFT bei der EG-Kommission eingerichteten Arbeitsgruppen sind ein Schritt dazu. In zahlreichen Punkten werden sich Übereinstimmungen erzielen lassen. In einigen Punkten, wie z. B. der Frage der Forschung an menschlichen Embryonen, wird dies sehr schwer sein. Generell gilt es jedoch, möglichst weitgehend übereinstimmende Standpunkte zu erzielen, um auch auf diesem Gebiet das gemeinsame Haus Europa auf ein solides Fundament von Übereinstimmungen zu stellen.

National werden die Ergebnisse und Empfehlungen der Bund-Länder-Arbeitsgruppe "Genomforschung" und des Arbeitskreises Genforschung daraufhin zu prüfen sein, welche weiteren Schritte zur Sicherung des verantwortlichen Umgangs mit den Möglichkeiten der Gendiagnostik am einzelnen Mensch notwendig sind.

Auch in der Zukunft werden Ergebnisse der biologischen und medizinischen Forschung ethische, soziale und rechtliche Fragen aufwerfen. Zur Zeit zeichnen sich ethische Fragen bei der Entwicklung von Therapiemöglichkeiten durch die Transplantation von foetalem menschlichem Gewebe, z. B. von Nervengewebe zur Heilung der Parkinsonschen Krankheit, ab.

Eine weitere Fragestellung ist die ethische Vertretbarkeit der Erzeugung transgener Säugetiere. Die Frage ist dabei weniger die Übertragung eines einzelnen Gens in ein Säugetiergenom als vielmehr die gezielte Erzeugung von Tieren, die sich ausschließlich am Bedarf des Menschen orientiert. Diese Frage berührt das Grundverständnis des Menschen, seine Bedürfnisse und sein Verhältnis zur belebten Natur.

Auch die Ergebnisse der modernen neurobiologischen Forschung können ethische und soziale Fragen aufwerfen, die dann aufgearbeitet werden müssen. Ein Ansatz hierzu ist die vom BMFT eingesetzte Expertenkommission "Neurobiologie/Hirnforschung - Neuroinformatik, Künstliche Intelligenz", die den Grenzbereich zwischen der Neurobiologie und Hirnforschung einerseits und der Informatik andererseits untersuchen soll, soweit sich die Informatik auf die Verwendung von Mechanismen des Gehirns und die Simulation menschlicher oder tierischer Intelligenzleistungen stützt oder zu stützen beruft, und welche Folgen sich hieraus für die menschliche Lebenswelt und die wissenschaftliche Erkenntnis ergeben.

Weitere Fragestellungen können sich erst aus dem Verlauf der Forschung ergeben. Generell sollten diese Fragen so früh wie möglich diskutiert und eine konsensfähige Haltung gefunden werden. Dies geschieht am sinnvollsten dort, wo das Wissen ist und entsteht. Dies muß aber fächerübergreifend, d. h. interdisziplinär erfolgen. Insbesondere gilt es dabei, die Spaltung der Wissenschaft in zwei Lager, auf der einen Seite Naturwissenschaften und Medizin, auf der anderen Seite Geistes- und Sozialwissenschaften, zu überwinden.

Mit dem Programm "Biotechnologie 2000" sollen zur Aufarbeitung der ethischen Fragen entsprechende interdisziplinäre Forschungsansätze gefördert werden.

Hierbei handelt es sich, wie schon an anderer Stelle deutlich gemacht, im wesentlichen *nicht* um spezifische Probleme und Fragen der Biotechnologie, sondern um ethische Fragen insbesondere der biomedizinischen Forschung. Die Förderung der Untersuchung derartiger Fragestellungen im Rahmen des Programms "Biotechnologie 2000" stellt daher im wesentlichen einen Beitrag zu anderen BMFT-Fachprogrammen dar, in denen die Behandlung und Förderung der ethischen Fragestellungen auch miterfolgen muß.

IV. DURCHFÜHRUNG DES PROGRAMMS

Durch die öffentliche Förderung sind in der Vergangenheit leistungsfähige Zentren für biotechnologische Forschung im institutionellen Bereich entstanden. Tragende Säulen sind die GBF als Großforschungseinrichtung auf dem Gebiet der Biotechnologie und die Schwerpunktprojekte (Genzentren u. a.), die institutionell von den Ländern getragen werden und die mit BMFT-Projektfördermitteln eine nachhaltige Startfinanzierung erhalten haben. Weitere institutionelle Schwerpunkte, zu denen die Biotechnologie starke Berührungspunkte besitzt, sind das DKFZ und das EMBL sowie die durch Finanzierung durch das Land Nordrhein-Westfalen getragenen Institute für Biotechnologie I + II im Forschungszentrum Jülich (KFA).

Mit der neuen Programmphase soll eine stärkere Vernetzung der Forschungsaktivitäten dieser Zentren untereinander in fachlicher Hinsicht und bezüglich der Entwicklung einer gemeinsamen Forschungsinfrastruktur erfolgen. Ansatzpunkte für die Vernetzung bilden bereits ergriffene Initiativen zum Betrieb gemeinsamer Datennetze über biologische Daten und Strukturen, über Datenbanken zur Speicherung von Gen- und Proteininformationen und bei der Sammlung biologischen Materials. Diese Forschungsinfrastruktur kann in das gesamteuropäische Konzept zur Biotechnologieförderung, das durch die Kommission der Europäischen Gemeinschaften verfolgt wird, eingebracht werden.

Eine zweite wichtige Funktion übernehmen die institutionellen Schwerpunkte als Kristallisationspunkte für die BMFT-Verbundforschung und die industrielle Auftragsforschung. Damit wird eine Integration dieser Forschungsstellen in die angewandte Forschung erreicht und der Transfer von der Grundlagenforschung bis in die Nutzung durch die Wirtschaft ermöglicht.

Neben der institutionellen Förderung und der Förderung der themenbezogenen Verbundforschung haben indirekte Fördermaßnahmen im Innovationsprozeß der jungen Biotechnologie eine ebenso zentrale Funktion. Die Förderung des Nachwuchses, der Abbau von Personaldefiziten in dem neuen Technologiegebiet und die Einführung der neuen Methoden und Verfahren in die industrielle Praxis sind Kernziele dieser Maßnahmen.

Mit Forschungsstellen in der DDR wurde bisher auf der Basis des Abkommens zur wissenschaftlich-technischen Zusammenarbeit (WTZ) mit der DDR zusammengearbeitet. Als Folge der Entwicklung seit dem 9. November 1989 werden mit dem Amtsantritt der neuen Regierung in der DDR nun zügige Schritte zu einem einheitlichen Forschungssystem möglich. Die Forschungsinfrastruktur geht nach einem beiderseits bestimmten Prozeß im Rahmen einer gesamtdeutschen Forschungslandschaft auf.

In der internationalen Kooperation nimmt die Zusammenarbeit mit den Ländern der Europäischen Gemeinschaft in den gemeinschaftlichen EG-Biotechnologieprogrammen und im Rahmen von EUREKA-Projekten eine bedeutende Funktion ein. Die Mitarbeit in Projekten auf europäischer Ebene setzt selbst eine leistungsfähige FuE-Infrastruktur und leistungfähige nationale Förderprogramme voraus, um sich als starker Partner in die gemeinschaftlichen FuE-Anstrenungen zu integrieren. Der Mehrwert der europäischen Zusammenarbeit liegt in einer breiten Basis für die Forschung und für die industrielle Innovation. Die Zusammenarbeit in der Europäischen Gemeinschaft soll weiter ausgebaut und durch Beiträge des nationalen Förderprogramms ergänzt werden.

Internationale Kooperation besteht darüber hinaus bilateral mit einer Reihe von Ländern auf ausgewählten Forschungsfeldern in der Biotechnologie. Grundsätze der internationalen Zusammenarbeit sind die arbeits- und kostenteilige Bearbeitung von Forschungs- und Entwicklungszielen, die in beiderseitigem Interesse liegen.

Die aufgezeigte Forschungsinfrastruktur in der Biotechnologie bietet hinreichend Freiraum zur Durchführung von Grundlagenforschung (Institute, Zentren) und zur Erarbeitung konkreter Zielsetzungen in der Verbundforschung, vor allem im Bereich der Sicherheitsforschung und Umweltbiotechnologie, der Pflanzenzüchtung, im Bereich nachwachsende Rohstoffe und bei der Entwicklung von Ersatzmethoden zu Tierversuchen.

1. Institutionelle Förderung der Biotechnologie

Gesellschaft für Biotechnologische Forschung mbH (GBF)

Als Zentrum der biotechnologischen Forschung gehört die Gesellschaft für Biotechnologische Forschung mbH (GBF) in Braunschweig-Stöckheim zu den 13 Großforschungseinrichtungen in der Bundesrepublik Deutschland. Sie wird seit 1976 vom Bund und vom Land Niedersachsen im Verhältnis 90:10 finanziert.

In der GBF haben sich seit 1983 grundlegende Änderungen in der Organisationsstruktur und in der personellen Besetzung vollzogen:Die wissenschaftlichen Aktivitäten wurden gestrafft, der Gesellschaftsvertrag neu gefaßt und die Eigenverantwortlichkeit der wissenschaftlichen Organe wesentlich gestärkt. Dies führte zu einer deutlich ge-

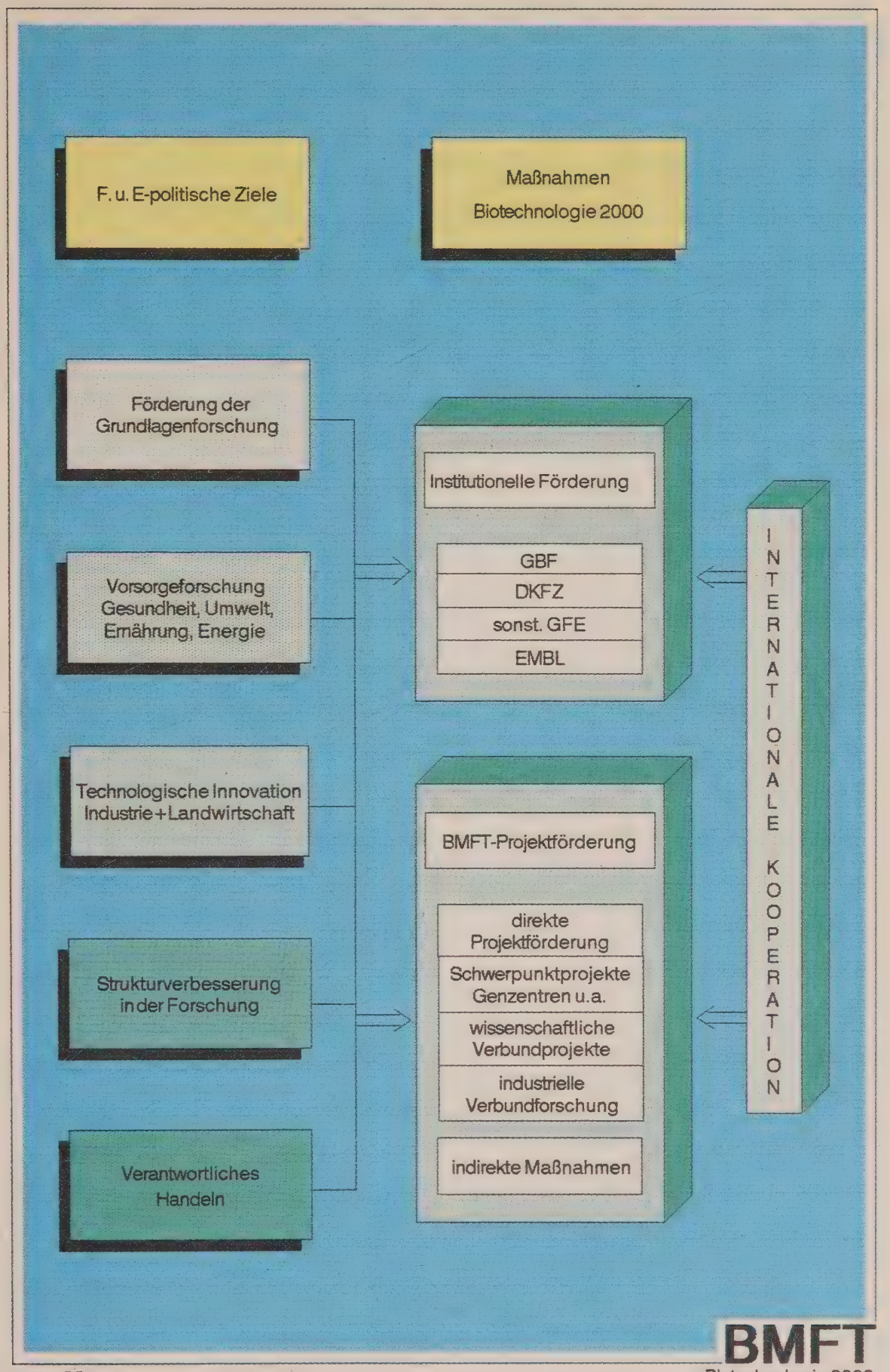

F. u. E-politische Ziele
Maßnahmen
Biotechnologie 2000
Förderung der Grundlagenforschung
Vorsorgeforschung Gesundheit, Umwelt, Ernährung, Energie
Technologische Innovation Industrie + Landwirtschaft
Strukturverbesserung in der Forschung
Verantwortliches Handeln
Institutionelle Förderung
GBF
DKFZ
sonst. GFE
EMBL
BMFT-Projektförderung
direkte Projektförderung
Schwerpunktprojekte Genzentren u.a.
wissenschaftliche Verbundprojekte
industrielle Verbundforschung
indirekte Maßnahmen
INTERNATIONALE KOOPERATION
BMFT
Biotechnologie 2000

Abb. 55

steigerten Nutzung des wissenschaftlichen Potentials und eröffnete die Möglichkeit, biotechnologische Fragestellungen auf sehr weit gefaßter Basis durch interdisziplinäre Zusammenarbeit an einem Ort effizient und kompetent zu bearbeiten.

Durch die Festigung in Zielrichtung und Aufgabenstruktur ist die GBF zu einem tragenden Teil der Forschungs- und Entwicklungslandschaft in den Disziplinen der Biotechnologie geworden. In Zusammenarbeit mit Hochschulen, weiteren Großforschungseinrichtungen, Genzentren und anderen zentralen Schwerpunktprojekten sowie der Industrie spielt sie eine wichtige Rolle bei der Bearbeitung fächerübergreifender Forschungs- und Entwicklungsprogramme sowie der Umsetzung von wissenschaftlichen Methoden und Resultaten in die industrielle Forschung und umweltverträgliche Produktion. Dies gilt einerseits für die Großindustrie, aber gerade besonders für kleine und mittelständische Unternehmen, die über keine oder nur geringe eigene Forschungskapazitäten auf dem Gebiet der Biotechnologie verfügen.

Der GBF sind die folgenden Aufgaben übertragen worden:

Anwendungsorientierte Grundlagenforschung auf den Gebieten der Mikrobiologie, Zellbiologie, Immunologie, Molekularbiologie, Biochemie, Naturstoffchemie, Enzymtechnologie und Bioverfahrenstechnik.

Erschließung neuer biotechnischer Verfahrenswege als Beitrag für eine innovative Produkt- und Prozeßgestaltung für Pharmazie, Chemie und Ernährung - auch im Hinblick auf eine Reduzierung von Umweltbelastungen.

Stoffliche und apparative Entwicklungsarbeiten zur Übertragung von biotechnologischen Laborverfahren in den halbtechnischen und technischen Maßstab mit dem Ziel der Entwicklung industriereifer Verfahren und den Technologietransfer.

Biologische Sicherheitsforschung, d. h. Risikoabschätzung und -minimierung bei Arbeiten mit rekombinanten Mikroorganismen und Zellkulturen sowie flankierende Maßnahmen bei der Erarbeitung und Umsetzung von Richtlinien für rekombinante Mikroorganismen.

Unterstützung externer Forschungsgruppen aus Wissenschaft und Industrie auf dem Gebiet der Biologie, Chemie und Medizin durch Herstellung kommerziell nicht erhältlicher Naturstoffe, Enzyme und Biomasse durch Bereitstellung der wissenschaftlich-technischen Infrastruktur der GBF, wie z. B. des Biotechnikums, der Zellkulturlabortechnik und der Naturstoff-Analytik als Service-Leistung.

Durchführung von Kooperationsvorhaben mit industriellen Partnern verschiedener Industriezweige mit dem Ziel der Verbesserung bestehender oder in der Entwicklung befindlicher neuer Produkte, Geräte und Verfahren.

Beteiligung an Gemeinschaftsprojekten im Rahmen des BMFT-Biotechnologie-Programms, wie z. B. dem Schwerpunkt "Grundlagen der Bio-Prozeßtechnik", gemeinsam mit den Universitäten Braunschweig, Hannover und Göttingen, oder "Dioxinabbau" mit der Universität Hamburg.

Weiterführende interdisziplinäre Ausbildung von Naturwissenschaftlern, Ingenieuren und Technikern im Rahmen von nationalen und internationalen Fortbildungskursen, letztere insbesondere im Hinblick auf die Kooperation mit Ländern der Dritten Welt.

Maßgebliche Beteiligung an *Stärkung und Ausbau der nationalen und europäischen Infrastruktur* der Biotechnologie auf dem Gebiet der Informationstechnik und Datenbanken (BIKE - Biotechnologie-Informationsknoten Europa; BRENDA - Braunschweiger Enzym-Datenbank; BIJANCA - Biochemistry in Japan - National and Corporate Activities; Datenbank Gentechnologie) sowie durch schwerpunktorientierte Tagungen.

Abb. 56: Gesellschaft für Biotechnologische Forschung (GBF)

Abb. 57

Biotechnologie 2000

Die Forschungsschwerpunkte der GBF liegen auf den Gebieten

1. Biosynthese und Biokatalyse

2. Biomoleküle und Molekül-Design

3. Biologische Entsorgung von Umweltschadstoffen

4. Bioverfahrensentwicklung

Im *Schwerpunkt Biosynthese und Biokatalyse* werden sämtliche Arbeiten zur mikrobiellen Biosynthese sowie zur mikrobiologischen und enzymatischen Katalyse zusammengefaßt. Dies umfaßt zentral das Thema "Biologisch aktive Sekundärstoffe aus Mikroorganismen" - in erster Linie handelt es sich hierbei um Antibiotika - und wird durch interdisziplinäre Zusammenarbeit der Abteilungen Mikrobiologie, Naturstoffchemie und Bioverfahrenstechnik erarbeitet. Unter dem Gesichtspunkt der katalytischen Enzymeigenschaften ist diesem Schwerpunkt das Thema "Biosensoren" zugeordnet, das aufgrund seines hohen Zukunftspotentials die Forschung der GBF maßgebend prägt. Hierunter versteht man die Entwicklung von biologischen Sensoren für die Medizin, die Bioprozeßkontrolle, die Nahrungsmitteltechnik und den Umweltschutz.

Der *Schwerpunkt Biomoleküle und Molekül-Design* befaßt sich mit der Entwicklung neuer und verbesserter Naturstoffe als Wirkstoffe oder Katalysatoren. Es ist inzwischen davon auszugehen, daß die in der Natur vorkommenden Stoffe bei weitem nicht immer die für eine technische Nutzung optimale Struktur besitzen. Hier ist der Ansatzpunkt für das "Molekül-Design", das es ermöglicht, bekannte Strukturen im Hinblick auf spezielle Anforderungen gezielt zu verbessern. Für die GBF beinhaltet dies die zyklische Nutzung der experimentellen Strukturforschung, der computergestützten Molekülmodellierung, der DNA-Synthese und der Protein-Expression, wobei der thematische Schwerpunkt auf Enzyme und pharmakologisch aktive Proteine ausgerichtet ist. Da das Molekül-Design vorerst jedoch nur innerhalb gewisser Grenzen möglich ist, bedarf es der stetigen Suche nach neuen Stoffen mit biologischen Funktionen sowie verbesserten Kenntnissen der biologischen Struktur-Funktions-Beziehung. Hierbei werden sowohl grundlegende methodische als auch anwendungsorientierte Aspekte erarbeitet. Aus stofflicher Sicht wird den Faktoren und der Biologie des Knochenwachstums sowie neuartigen Impfstoffen besondere Aufmerksamkeit gewidmet.

Aktuelle Probleme der *Umweltforschung* stellen das Aufgabengebiet des dritten Schwerpunktes dar. Ausgangspunkt hierfür sind neue Forschungsprioritäten der GBF im Feld der Mikrobiologie und Bioverfahrenstechnik. Im Zentrum der Arbeiten steht dabei die Entwicklung von Mikroorganismen und Bioprozessen zur Beseitigung schwer abbaubarer und größtenteils toxischer Verbindungen, die sich vorwiegend in Wasser und Boden anreichern (biologische Detoxifikation).

Grundlagenforschung soll zum Thema "Verhalten rekombinanter Mikroorganismen in Modell-Ökosystemen" betrieben werden - eine dringliche Fragestellung, die in abgeschlossenen Systemen unbedingt abgeklärt werden muß, bevor rekombinante Mikroorganismen im Freiland, z. B. für den Schadstoffabbau, zum Einsatz gebracht werden können.

Im *Schwerpunkt "Bioverfahrensentwicklung"* werden die in enger Anbindung an die biologische Problemstellung entstehenden Aufgaben der Verfahrens- und Prozeßtechnik bearbeitet. Zentral wird hier das Thema "Technologie tierischer Zellkulturen" behandelt, dem die GBF in der Zukunft als Produktionssystem für komplexe Biomoleküle besondere Bedeutung beimißt. Anhand geeigneter Verfahrensziele wird hier die Basis für biologisch sichere und im Maßstab vergrößerbarer Produktionsverfahren incl. Meß-, Regel- und anschließender Aufarbeitungstechnik gelegt.

Bei der Prozeßentwicklung von Fermentationsprozessen haben neue Konzepte Beachtung gefunden. Hierzu gehört die Entwicklung kontinuierlicher Verfahren ebenso wie z. B. die Integration von Abtrenn- und Aufarbeitungsschritten in den Reaktionsbereich. Grundlegende Arbeiten zur methodischen und apparativen Fortentwicklung wichtiger Operationen der Aufarbeitungstechnik für Produkte aus Mikroorganismen und Zellkulturen stellen einen weiteren Schwerpunkt dar.

Förderverein der GBF, Zusammenarbeit mit der Industrie und Öffentlichen Einrichtungen.
Die Kooperationsfähigkeit der GBF und ihre Flexibilität, auf neue Forschungsprioritäten kurzfristig und effektiv zu reagieren und ihr wissenschaftliches Angebot werden durch einen Förderverein, der durch die Industrie gegründet wurde, verbessert und verbreitert. Der Förderverein ermöglicht eine Stärkung der biotechnologischen Forschung und intensiviert die projektbezogene Kooperation mit Industriepartnern durch schnelle und problemorientierte Maßnahmen. Zum Erhalt eines hohen wissenschaftlichen Niveaus trägt er auch durch die Finanzierung von Forschungsaufenthalten für hervorragende Gastwissenschaftler bei.

Die GBF ist in das wissenschaftliche Umfeld der benachbarten Hochschulen integriert. Die Etablierung eines gemeinsamen Studienganges "Biotechnologie" für Naturwissenschaftler und Ingenieure in Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Braunschweig ist ein beispielhaftes und für die Zukunft konzipiertes Modell. Dieses Konzept umfaßt gemeinsame Berufungsverfahren von GBF und TU Braunschweig, und ein durch das Land Niedersachsen neu erstelltes Biozentrum an der TU, das von GBF und TU gemeinsam für Forschung und Lehre genutzt wird.

Stiftung Deutsches Krebsforschungszentrum (DKFZ)

Das Deutsche Krebsforschungszentrum (DKFZ) wurde 1964 als überregionale Forschungseinrichtung gegründet und wird seit 1975 als Großforschungseinrichtung vom

Bund und vom Land Baden-Württemberg im Verhältnis 90:10 finanziert. Seit dieser Zeit ist das DKFZ Mitglied der Arbeitsgemeinschaft der Großforschungseinrichtungen (AGF) und seit 1977 der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG). In seinem jetzigen Umfang von acht Instituten besteht das Zentrum seit 1976.

Entsprechend seinem Auftrag ist Ziel des Forschungsprogrammes des DKFZ, wesentliche Beiträge zum Verständnis der Krebsentstehung und zur Erarbeitung wissenschaftlich fundierter Therapiekonzepte zu liefern.

Die wissenschaftliche Arbeit im DKFZ wird dabei durch folgende Faktoren nachhaltig beeinflußt:

- die Entwicklung der molekularen Genetik,
- die zunehmende Verknüpfung von molekularbiologischen, zellbiologischen und immunologischen Ansätzen untereinander,
- zunehmender Hinwendung zur Analyse von Tumorsystemen des Menschen,
- eine verstärkte Orientierung auf anwendungsnahe Grundlagenforschung und angewandte Forschung, die sich aus dem zunehmenden Verständnis der Mechanismen

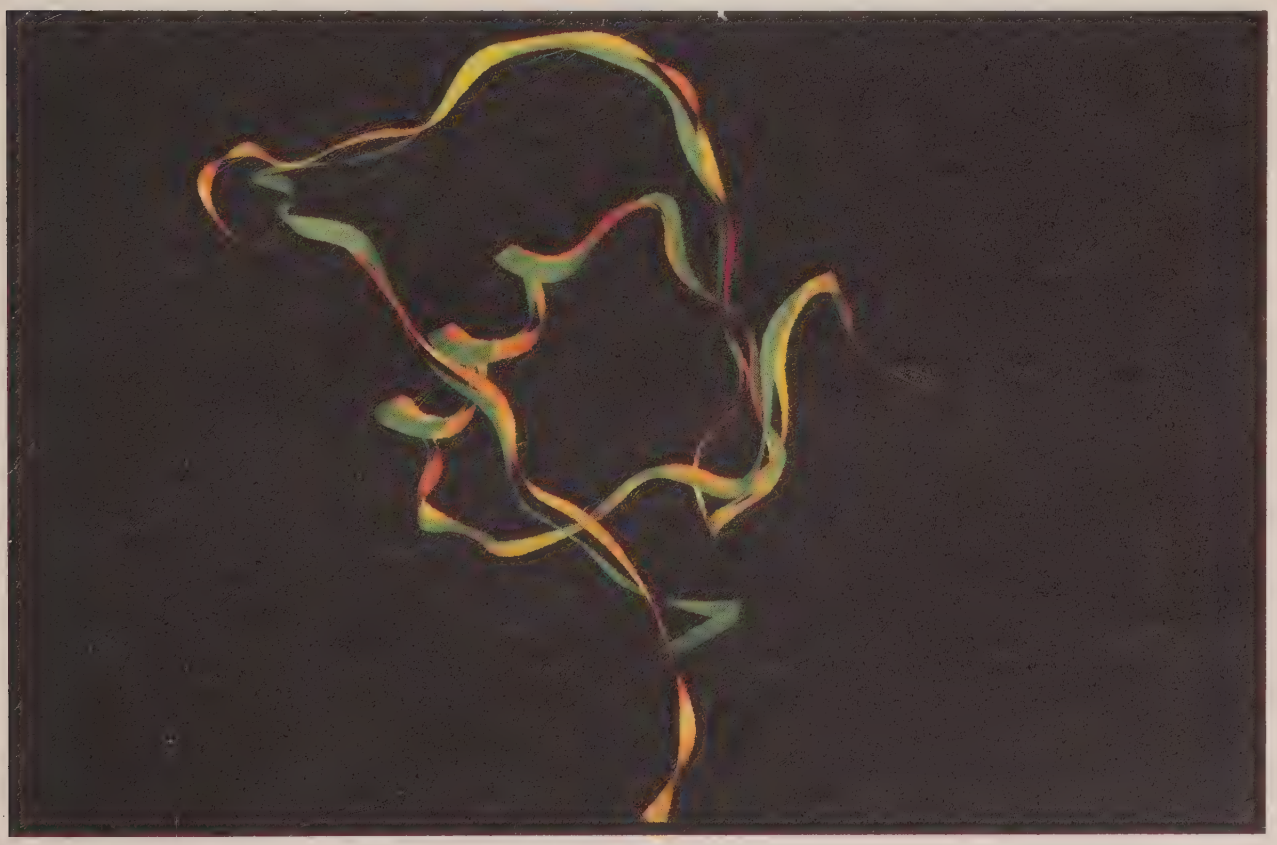


Abb. 58: Durch Röntgenstrukturanalyse bestimmte Faltung einer durch Molecular Modelling geplanten Varinate eines medizinisch wichtigen "Elastase-Inhibitors" (Behandlung von z.B. septischem Schock), durch erfolgreiches "Computer-unterstütztes Protein-Design (CAPD)" entwickelt.

der Krebsentstehung und der Erfassung von Krebsrisikofaktoren für die Prävention, Diagnostik und Therapie von Krebskranken ergeben.

Krebs ist primär ein medizinisches Problem, so sehr auch die ihm zugrunde liegenden molekularbiologischen Veränderungen nur über die naturwissenschaftliche Grundlagenforschung erfaßbar sind. Vorrangiges Ziel der Forschung am DKFZ ist es, eine Basis für erfolgreiche Krebsvorbeugung zu schaffen. Man kann heute davon ausgehen, daß geeignete Vorbeugungsmaßnahmen und auch gezielte Therapieansätze in der Zukunft zunehmend gerade bei häufigen Krebsformen des Menschen einsetzbar werden. Voraussetzung hierzu sind allerdings weitere intensive Forschungsbemühungen im nationalen und internationalen Bereich.

Es ist ein nachdrückliches Ziel des Deutschen Krebsforschungszentrums, die Ergebnisse seiner wissenschaftlichen Arbeit auf kürzestem Wege zur Verhütung, frühen Diagnose und Therapie von Krebserkrankungen zum Einsatz kommen zu lassen.

Auch durch die multidisziplinäre Forschung am DKFZ werden Möglichkeiten gesehen, in der Analyse der Tumorentstehung und -entwicklung sowie in Krebsdiagnostik und -therapie künftig weitere wesentliche Fortschritte zu erreichen. Die Arbeiten konzentrieren sich auf vier Forschungsschwerpunkte:

Der Forschungsschwerpunkt *Tumorbiologie* umfaßt Aktivitäten auf den Gebieten:

- Biochemie, Molekular- und Zellbiologie von normalen und transformierten Zellen,
- Metastasierung und invasives Wachstum,
- Immunologische und nicht-immunologische Abwehrmechanismen,
- Methoden der Informatik.

Der Forschungsschwerpunkt *Mechanismen der Krebsentstehung* umfaßt Aktivitäten auf den Gebieten:

- Ablauf der neoplastischen Transformation,
- Mechanismen der viralen Krebsentstehung,
- Mechanismen der chemischen Krebsentstehung,
- Die Rolle negativ und positiv regulierender Gene in der Onkogenese.

Der Forschungsschwerpunkt *Krebsauslösende Faktoren* umfaßt Aktivitäten auf den Gebieten:

- Viren in der Auslösung menschlicher Tumoren,
- Zusammenwirken von Viren mit chemischen und physikalischen Faktoren,
- Chemische Faktoren bei Krebsauslösung und -promotion,
- Physikalische Faktoren,
- Kombinationswirkung verschiedener Faktoren,
- Epidemiologische Untersuchungen zu Krebsinzidenz und Krebsursache.

Der Forschungsschwerpunkt *Diagnostik- und Therapieforschung* umfaßt Aktivitäten auf den Gebieten:

- Biophysikalische Diagnostik,
- Molekularbiologische und immunologische Diagnostik,
- Diagnostik und Therapie humanpathogener Tumorviren,
- Strahlentherapie,
- Chemotherapie,
- Immuntherapie und körpereigene Mediatoren.Die umfangreichen Kooperationen mit dem In- und Ausland ergänzen diese Forschungsarbeiten wesentlich.

Die etablierten Kooperationen im Tumorzentrum Heidelberg/Mannheim stellen eine unmittelbare Zusammenarbeit zwischen den Grundlagenforschern und den Nutzern, in diesem Fall den beteiligten Kliniken, dar. Neue Ansätze zur Diagnostik und Therapie von Krebskrankheiten werden auch in Kooperationen mit industriellen Partnern entwickelt. Die Grundstruktur des Zentrums ohne direkt zuarbeitende klinische Bereiche weist jedoch Nachteile auf. Daher werden z.Z. neue Ansätze gesucht, wie spezielle Ergebnisse der experimentellen Krebsforschung auch in die Klinik übertragen werden können.

Das DKFZ ist mit seinen Arbeiten in das wissenschaftliche Umfeld der Universität Heidelberg integriert, was auch durch gemeinsame Berufungen zum Ausdruck kommt.
Qualität und Aktualität der Forschungsarbeiten werden durch interne Begehungen und externe, international ausgelegte Begutachtungen gesichert und neben zahlrei-

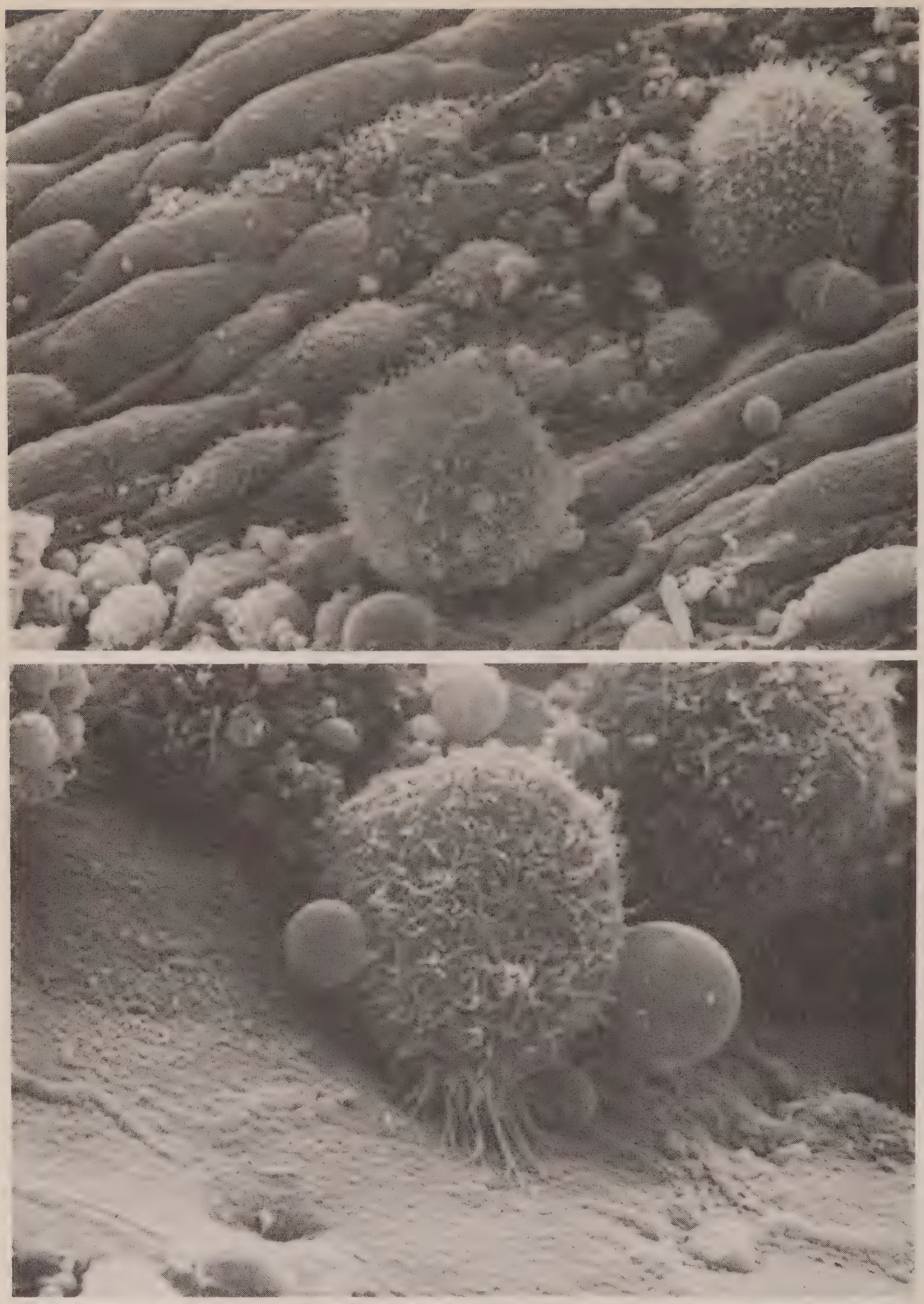


Abb. 59: Zwei Tumorzellen (Ratte) in Kontakt zum Endothel aus Lymphgefäßen (Vergrößerung: 2720-fach, oben; 3540-fach, unten)

chen Fachveröffentlichungen in eigenen Berichtsmedien wie dem Berichtsband "Krebsforschung heute" oder der Zeitschrift "einblick" dokumentiert.

Weitere institutionelle Förderung in der Biologie/Biotechnologie

Die biologische Forschung ist auch tragendes Element der interdisziplinären Forschungs- und Entwicklungsarbeiten einer Reihe weiterer *Großforschungseinrichtungen,* die sich mit den übergreifenden Gebieten Umwelt, Gesundheit und Sicherheit befassen. Sie leisten einen Beitrag zum Erkenntnisfortschritt über molekulare und zelluläre Zusammenhänge in biologischen Systemen und zur Entwicklung neuer biologischer, chemischer und physikalischer Methoden. Neben der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung in Neuherberg sind das Deutsche Elektronen-Synchrotron (DESY) in Hamburg, die Gesellschaft für Schwerionenforschung in Darmstadt, das Hahn-Meitner-Institut in Berlin und die Forschungszentren in Karlsruhe, Jülich und Geesthacht auf diesen Gebieten tätig. Die in diesen Forschungseinrichtungen vorhandenen Großgeräte (Forschungsreaktoren, Synchrotronstrahlenquellen) stellen unentbehrliche diagnostische Hilfsmittel für Einblicke in das atomare und molekulare Geschehen und damit für das mikroskopische Verständnis makroskopischer Eigenschaften der belebten (wie auch der unbelebten) Materie dar. Ohne sie ist biologische Strukturforschung, wie sie beispielweise beim Synchrotronstrahlungslabor Hasylab bei DESY insbesondere von einigen Max-Planck-Arbeitsgruppen durchgeführt wird, praktisch nicht denkbar. Noch bessere Arbeitsmöglichkeiten wird die Strukturforschung in einigen Jahren nach Verfügbarkeit der Europäischen Synchrotronstrahlungsquelle (ESRF) in Grenoble infolge ihrer wesentlich höheren Strahlintensität erhalten. Grenoble wird dann wegen der schon vorhandenen, besonders leistungsfähigen Neutronenquelle im Institut Max von Laue-Paul Langevin (ILL) eine Region von herausragendem Interesse für die molekularbiologische Forschung sein.

In den Instituten der *Fraunhofer-Gesellschaft* in Stuttgart und München werden biotechnische Forschungsarbeiten auf den Gebieten Bioverfahrenstechnik und Membrantechnologie sowie Lebensmitteltechnologie und Verpackung durchgeführt. Diese Institute sind in die Verbundprojekt- und Schwerpunktförderung eingebunden.

Eine Reihe von biologisch/biomedizinisch arbeitenden Instituten der *Max-Planck-Gesellschaft* leisten wichtige Beiträge im Grundlagenbereich. Teilweise sind sie in die Schwerpunktprojektförderung des Biotechnologieprogramms einbezogen und arbeiten mit Partnern aus dem universitären Bereich zusammen (Genzentren).

Die institutionelle Förderung der Forschung und Wissenschaft an den Universitäten wird wesentlich ergänzt durch die Fördermaßnahmen der *Deutschen Forschungsgemeinschaft.* Sie wendet sich mit ihren Maßnahmen der Einzelförderung, der Förderung von Forschergruppen, der Schwerpunktförderung und der Förderung von Sonderforschungsbereichen nachhaltig an die biologisch/biomedizinische Grundlagenforschung.

Forschungszentrum Jülich (KFA)

Die Arbeiten zur "Biotechnologie" konzentrieren sich auf folgende Themenbereiche: Mit billigen Rohstoffen als mikrobielle Fermentationssubstrate sollen technisch und pharmakologisch interessante Metabolite, wie zum Beispiel Aminosäuren, gewonnen werden. Die für die Umsetzung verantwortlichen Schlüsselenzyme werden charakterisiert und die Regulations- und Transportmechanismen analysiert. Mit Hilfe gentechnischer Methoden sollen leistungsfähige Stämme gewonnen werden.
Untersuchungen an anaeroben Mikroorganismen stehen unter dem Aspekt der Biokonversion. Dazu gehören die Vergärung von Hexosen und Pentosen zu Ethanol mit Hilfe von Bakterien und die Umwandlung von Glucose und Fructose zu Gluconsäure

Abb. 60: Institut für Biotechnologie des Forschungszentrums Jülich (IBT/KFA)

und Sorbit. Zur Reinigung organisch hochbelasteter Abwässer geeignete Bakterien werden selektiert und charakterisiert.
Zur Gewinnung verallgemeinerungsfähiger reaktionstechnischer Aussagen für die Produktion und den praktischen Einsatz von Biokatalysatoren werden geeignete Katalysator/Substrat-Systeme mit dem Ziel der kontinuierlichen Gewinnung technisch interessanter Substanzen und pharmakologisch bedeutsamer Metabolite (z.B. Aminosäuren) untersucht.
Bei den reaktionstechnischen und verfahrenstechnischen Arbeiten zur Gewinnung und Nutzung von anaeroben Mikroorganismen werden Bioreaktoren (Fermenter) mit billigen biologischen und technischen Rohstoffen betrieben, um Leistungskennzahlen für die gesicherte Maßstabsvergrößerung bei der anaeroben Abwasserreinigung und der anaeroben Wertstoffgewinnung zu erhalten.

Untersuchungen zur biotechnischen aeroben Abwasserbehandlung dienen der Effizienzsteigerung von Kläranlagen. Die biologische Eliminierung von Nitrat und von Schwefelverbindungen wird in Wasserpflanzen-Bodenfiltern und in Drehrohr-Festbettreaktoren untersucht.

Die Arbeiten in der "Biologischen Informationsverarbeitung" beschäftigen sich mit der zellulären Signalverarbeitung. Sie sind Teil biologisch-medizinischer Grundlagenforschung. Impulse sind für die Entwicklung technischer informationsverarbeitender Systeme auf der Basis von biologischen Strukturen und Biopolymeren zu erwarten. Die folgenden Themen stehen im Mittelpunkt der Forschungstätigkeiten:
Für die Aufklärung des Mechanismus der Signalübertragung in Photorezeptoren von Wirbeltieren werden die zellulären Komponenten und regulatorischen Prozesse identifiziert und charakterisiert.Weitere Untersuchungen dienen dem Verständnis des Ionentransports bei der Signalverarbeitung.

Das Wirkraum- und Rückstandsverhalten von Pflanzenschutzmitteln wird in Lysimeterversuchen unter realen Bedingungen ebenso wie der Transfer von Radionukliden und Schwermetallen im System Boden/Pflanze verfolgt. Die Untersuchung zur Wechselwirkung zwischen Nährstoffaufnahme, -transport und Assimilatbildung in Pflanzen sowie zur Transportphysiologie junger Bäume werden fortgesetzt.

Die Arbeiten auf dem Gebiet der theoretischen Ökologie konzentrieren sich auf die Entwicklung von Theorien und Konzepten für die Ökosystemanalyse, die Durchführung mikrointeraktiver Simulationen und die Analyse komplexer Prozesse.

Bundesforschungsanstalten

Auch im Bereich der unselbständigen Bundesanstalten im *Geschäftsbereich des Bundesministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten* wird die biotechnologische Forschung stark ausgebaut. Diese institutionell geförderten Einrichtungen leisten eigene Beiträge besonders auf den Gebieten Agrarforschung, Lebensmittelforschung und -technologie, Pflanzenzüchtung, nachwachsende Rohstoffe, Zellkulturtechnik

und Impfstoffherstellung. Soweit Beiträge zu Verbundprojekten geleistet werden, nehmen diese Institutionen zur Verstärkung ihrer Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten auch auf die Projektlaufzeit begrenzte BMFT-Projektförderung in Anspruch. Durch Zusatzfinanzierung mit BMFT-Projektmitteln auf eine sehr begrenzte Zeit (max. 3 Jahre) können in Einzelfällen interne Umstrukturierungsmaßnahmen in Richtung der modernen biotechnologischen Forschung und Entwicklung vollzogen werden.

Unter dem Aspekt der Zukunftsvorsorge werden Forschungsprojekte in der Ressortforschung des BML mit einer doppelten Zielsetzung angegangen:

- Erhöhung der Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit der Agrar- und Ernährungswirtschaft durch biotechnische Innovationen,

- wirksame Wahrnehmung von agrarpolitisch verantworteten Aufgaben der Daseinsfürsorge (qualitativ hochwertige und gesunde Ernährung, Ressourcensicherung, Umwelt- und Naturschutz, Tierschutz u.a.).

Vor dem Hintergrund der allgemeinen agrarpolitischen Situation muß die Nutzanwendung der Biotechnolgie primär auf Kostensenkung und Verbesserung der Ertrags-Aufwands-Beziehungen ausgerichtet sein (u.a. durch Reduzierung des Einsatzes von Pflanzenschutz-, Dünge-, Tierarznei- und Futtermitteln), ferner auf die qualitative Produktverbesserung und die Entwicklung von neuen Produkten für neue Märkte.

Hauptanwendungsfelder im Agrarbereich sind vor allem

- Pflanzenzüchtung und Pflanzenschutz,

- Tiergesundheit und Tierzucht,

- Be- und Verarbeitung land- und forstwirtschaftlicher Produkte einschließlich Rest- und Abfallstoffe,

- Umwelt- und Verbraucherschutz,

- Nutzung genetischer Ressourcen von Tieren, Pflanzen und Mikroorganismen.

Darüber hinaus erfordern die noch weitgehend unbekannten, mit der Anwendung der Gentechnik möglicherweise verbundenen gesundheitlichen und ökologischen Risiken eine auf weite Bereiche ausgerichtete Sicherheitsforschung. Die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten der Biotechnologie in der Agrar- und Ernährungswirtschaft können auch erhebliche Auswirkungen auf die Agrarmärkte und Agrarstrukturen zur Folge haben, für deren Abschätzung eine möglichst frühzeitig ansetzende sozioökonomische Begleitforschung notwendig ist.

2. Förderung von Schwerpunktprojekten und Verbundforschung im Rahmen der BMFT-Projektförderung

Schwerpunktprojekte

Aus Überlegungen zur Verbesserung der Anfang der 80er Jahre noch ungünstigen Situation der Biotechnologie in der Bundesrepublik heraus entstand die Idee der Gründung von Genzentren. Speziell in der Gentechnik wurde der nationale Rückstand gegenüber dem Ausland (hier vor allem den USA) besonders deutlich.

Gemeinsame Analysen mit der Wissenschaft und der Industrie ergaben als notwendige Voraussetzungen für eine Entwicklung auf diesem Gebiet: Eine Verstärkung der Grundlagenforschung, eine verstärkte Nachwuchsförderung sowie die Bündelung personeller und materieller Kapazitäten und die Verbesserung des Technologie- und Know-How-Transfers zwischen Grundlagenforschung und (industriellen) Anwendern.

Beste Entwicklungsvoraussetzungen boten Orte, an denen bereits gentechnisch gearbeitet wurde. Köln, Heidelberg und München boten Ansätze für die ersten Schwerpunkprojekte (Genzentren) in der Biotechnologie. Inzwischen sind weitere hinzugekommen: das "Genzentrum" in Berlin, drei bioverfahrenstechnische Schwerpunkte in Niedersachsen, Stuttgart und Düsseldorf, das Zentrum für Molekularbiologie Hamburg und der Schwerpunkt Biokatalyse in Düsseldorf/Jülich.

Der Aufbau und Betrieb der Schwerpunktprojekte erfolgt im Konsens und in Zusammenarbeit mit den jeweiligen Institutionen (Länder über beteiligte Universitäten, Max-Planck-Gesellschaft, Fraunhofer-Gesellschaft). Die institutionellen Träger stellen die Infrastruktur in Form der Gebäude und der personellen wie apparativen Grundausstattung, während mit BMFT-Mitteln längerfristig die Durchführung von Projekten finanziert werden. Die Industrie beteiligt sich ebenfalls mit zweckgebundenen und nichtzweckgebundenen Mitteln am Betrieb der Zentren. In einem Fall (Institut für Genbiologische Forschung, Berlin) ist sie Mitgesellschafter.

Die Förderung der Schwerpunktprojekte erfolgt in Form von "Instituten auf Zeit" für eine Periode von etwa 10 bis 12 Jahren. Danach müssen die institutionellen Träger entscheiden, ob sie den Schwerpunkt in dieser oder anderer Form fortsetzen wollen, oder ob dieser aufgelöst werden soll.

Der Vorteil der zeitlichen Begrenzung bei der Schwerpunktförderung besteht darin, hinreichend Flexibilität zu wahren, weitere aktuelle Gebiete aufzugreifen und gleichzeitig die Förderung nach Erreichen der Zielsetzung wieder einschränken zu können. Es wird davon ausgegangen, daß die Schwerpunkte, soweit sie nicht zurückgefahren

Zentrale Schwerpunktprojekte

		Start	Beteiligte Institutionen
1.	Genzentrum Köln mit Max-Delbrück-Laboratorium (Nachwuchsgruppenlabor)	1982 1989	Institut f. Genetik, U Köln; MPI für Züchtungsforschung, Köln
2.	Genzentrum Heidelberg	1982	Universität Heidelberg, insbesondere das Zentrum für Molekulare Biologie Heidelberg (ZMBH); Deutsches Krebsforschungszentrum
3.	Genzentrum München, mit Nachwuchsgruppenlabor	1984 1985	Universität München, MPI für Biochemie Martinsried
4.	Bioproprozeßtechnik Niedersachsen	1984	Technische Universitäten Braunschweig, Hannover; Universität Göttingen; Gesellschaft für Biotechnologische Forschung, Braunschweig; MPI für biophysikalische Chemie, Göttingen
5.	Bioverfahrenstechnik Stuttgart	1987	Universität Stuttgart, verschiedene Institute; Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik; Inst. f. Mikrobiologie, Universität Tübingen
6.	Zentrum für Molekularbiologie, Hamburg	1987	Institut für Allgemeine Botanik, U Hamburg; Universitätskrankenhaus Eppendorf
7.	Genzentrum Berlin	1988	Institut für Genbiologische Forschung (IGF) GmbH; FU und TU Berlin, verschiedene Institute
8.	Stoffumwandlung mit Enzymen, Düsseldorf	1989	Inst. f. Mikrobiologie, Inst. f. Enzymtechnologie, U Düsseldorf; Institut f. Biologie I u. II, KFA Jülich

BMFT
Biotechnologie 2000

Abb. 61

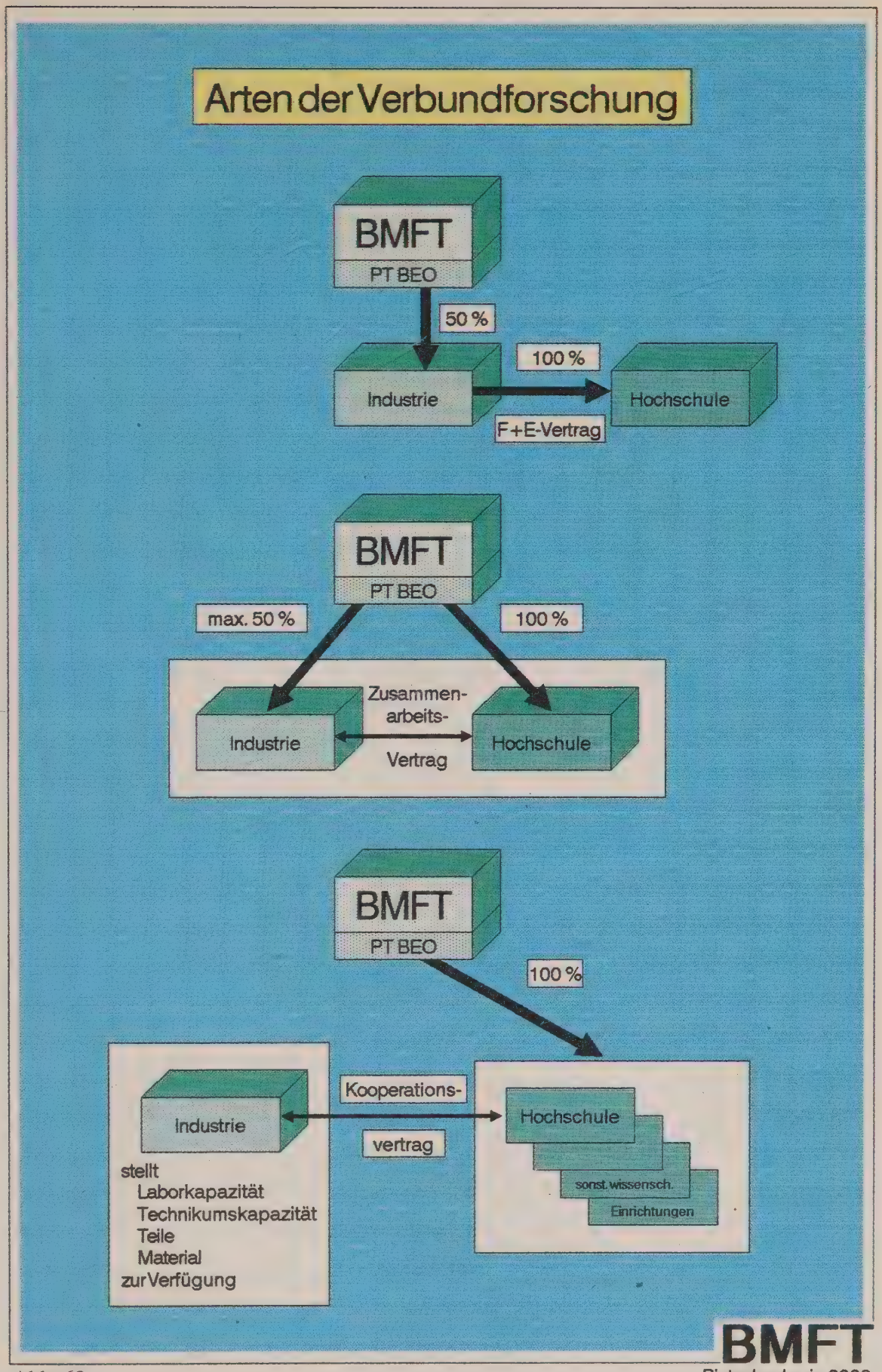

Arten der Verbundforschung
BMFT
PT BEO
50 %
100 %
Industrie
Hochschule
F+E-Vertrag
BMFT
PT BEO
max. 50 %
100 %
Zusammen-
arbeits-
Industrie
Hochschule
Vertrag
BMFT
PT BEO
100 %
Kooperations-
Industrie
Hochschule
vertrag
sonst. wissensch.
Einrichtungen
stellt
Laborkapazität
Technikumskapazität
Teile
Material
zur Verfügung
BMFT
Biotechnologie 2000

Abb. 62

werden, Partner der mehr anwenderorientierten industriellen Verbundforschung werden.

Verbundforschung

Vor allem als Instrument zur Förderung der anwendungsorientierten Grundlagenforschung und bei der Bearbeitung komplexer FuE-Probleme im vorwettbewerblichen Bereich ist die industrielle Verbundforschung ein sehr wirkungsvolles Förderinstrument. Hiermit soll eine enge Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Wirtschaft angeregt werden. Die überwiegende Zahl der Vorhaben im Biotechnologieprogramm wird in Form der Verbundforschung durchgeführt.

Das Instrument der Forschungsförderung durch Verbundvorhaben wird im Programm "Biotechnologie 2000" weiter ausgebaut werden. Künftig wird den Vorhaben vorrangige Priorität eingeräumt werden, bei denen eine höhere Industriebeteiligung nachgewiesen wird. Durch dieses Vorgehen soll gesichert werden, daß wissenschaftlich und wirtschaftlich besonders attraktive Verbundprojektideen verwirklicht werden.

Im Bereich der staatlichen Vorsorgeforschung und Umweltforschung sind wirtschaftliche Maßstäbe an Verbundprojekte nicht anzulegen. Hierbei wird der Beitrag zur Problemlösung im konkreten Einzelfall entscheidend für die Förderungswürdigkeit von Projekten sein.

3. Indirekte Förderungsmaßnahmen

Forschungsstipendien, Spitzen- und Nachwuchsförderung

Die schnell fortschreitende Entwicklung in der Biotechnologie erfordert unverändert ein ausreichendes Potential von Nachwuchswissenschaftlern.
Wesentliche Impulse zur Verbesserung der Situation des wissenschaftlichen Nachwuchses lieferten in der Vergangenheit verschiedene Maßnahmen; so zum Beispiel ein Stipendienprogramm in den molekularbiologischen Grundlagenwissenschaften. Ein Stipendienprogramm mikrobiologisch-verfahrenstechnischer Ausrichtung hat zur Stärkung an geschulten Kräften in diesem Bereich beigetragen.
Ergänzend soll der wissenschaftliche Nachwuchs gefördert werden durch:

a) Forschungsbeihilfen bei internationaler Zusammenarbeit.
Gerade in der modernen Biologie ist ein Austausch von Fakten und methodischem Wissen unverzichtbar. Eine hohe Mobilität ist daher gefordert. Die Bundesrepublik hat mit vielen Staaten Abkommen zur wissenschaftlich-technischen Zusammenarbeit abgeschlossen, die durch Maßnahmen für den internationalen wissenschaftlichen Erfahrungsaustausch ausgefüllt werden können. Die Forschungsförderung soll einerseits die Möglichkeit eröffnen, durch Auslandsaufenthalte spezifische Methoden zu erlernen und andererseits in Zusammenarbeit mit einer ausländischen Forschergruppe eine

spezifische Fragestellung zu bearbeiten. In Einzelfällen wird es auch möglich sein, ausländische Wissenschaftlern zur Durchführung gemeinsamer Forschungsvorhaben in der Bundesrepublik Deutschland anzuwerben.
Speziell für die internationale Zusammenarbeit im Rahmen des Human Frontier Science Programme (HFSP) hat die Bundesregierung Mittel für Workshops und Forschungsaufenthalte bereitgestellt.

b) Rückkehrbeihilfen
Jüngeren Nachwuchswissenschaftlern, die einige Zeit im Ausland verbracht haben, fällt es häufig schwer, in der Bundesrepublik Deutschland einen geeigneten Arbeitsplatz auf ihrem Forschungsgebiet zu bekommen. Um ihnen die Wiederaufnahme ihrer Arbeiten hier zu erleichtern, werden für bestimmte Fachrichtungen (z. B. Neurobiologie, molekulare Parasitologie) in begrenztem Rahmen Rückkehrbeihilfen gewährt. Diese umfassen die zeitlich befristete Finanzierung der eigenen Stelle und (in beschränktem Umfang) Sachausgaben.

c) Fonds für biologische Chemie
Gemeinsam mit dem Verband der chemischen Industrie hat das BMFT bisher über den Fonds für biologische Chemie Spitzenwissenschaftler und Nachwuchskräfte gefördert. Der Fonds wird zu 40 % vom BMFT finanziert. Die seit 1983 laufende erfolgreiche Kooperation wird zunächst bis 1993 mit unveränderter Schwerpunktsetzung fortgeführt.

Förderung der biotechnischen Industrie

Mittelständische Unternehmen stehen im Innovationsprozeß vor vielen neuen Herausforderungen. Wie auch in anderen Schlüsseltechnologien, hängt dies in der Biotechnologie mit dem überaus schnellen Erkenntniszuwachs und den stetig wachsenden Möglichkeiten der Anwendung zusammen.
Die Vorteile kleiner und mittlerer Unternehmen liegen u. a. in ihrer Flexibilität neuen Entwicklungen gegenüber (z. B. aufgrund kürzerer Entscheidungswege) und in ihrer größeren Kundennähe. Auch finden solche Firmen oft ihre spezielle "Nische" dort, wo sich Großfirmen aus Gründen einer relativ geringen Umsatzerwartung nicht engagieren.
Benachteiligt sind mittelständische Firmen jedoch häufig durch größere Schwierigkeiten bei der wissenschaftlichen und patentrechtlichen Informationsbeschaffung und bei der Finanzierung von Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten.

Mit dem Programm zur Förderung der biotechnischen Industrie soll vorwiegend kleinen und mittleren Unternehmen ermöglicht werden, das in der Biotechnologie liegende hohe Innovationspotential zu nutzen. Es soll Hilfestellung bei der Kooperation untereinander und mit Institutionen der Grundlagenforschung sowie bei der Einführung moderner Methoden der biotechnischen Produktion geben und die Risiken zum Einstieg in die Anwendung dieser Technologie vermindern helfen.

Im Vordergrund steht die Förderung der Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und mittelständischen Unternehmen in der Bundesrepublik Deutschland durch Gemeinschaftsforschungsprojekte, an denen mehrere Unternehmen sowie Forschungsinstitute beteiligt sind. Daneben können auch Einzelprojekte nach einem administrativ vereinfachten Verfahren in bestimmten prioritären Bereichen gefördert werden.

Der spezifischen Förderung von jungen bzw. neu gegründeten bio-technologisch orientierten Firmen in ausgewählten thematischen Bereichen wird ebenfalls Vorrang eingeräumt.

Technologietransferzentren

Defizite auf dem Informationssektor werden mit zunehmender Komplexität der technischen Entwicklung immer größer. Um den Technologie- und Informationstransfer in Unternehmen verstärkt zu fördern, sollen Technologietransferstellen und Demonstrationszentren unterstützt werden. Unternehmen sollen hier die Information und Beratung über Anwendung und Umsetzung biotechnologischer Verfahren erhalten können, die sie zur Bewältigung ihrer Aufgaben brauchen.

4. Erhaltung und Nutzung von biologischem Material und Informationsbereitstellung

Erhaltung und Nutzung tier- und pflanzengenetischer Ressourcen

Eine breite genetische Basis ist Voraussetzung für die Entwicklung von neuen Pflanzensorten und Tierrassen durch die landwirtschaftliche Züchtung sowie für die Funktion und Leistungsfähigkeit von Forstbaumbeständen. Angesichts verschiedener Tendenzen zur Einschränkung der genetischen Vielfalt ist die Entwicklung von Methoden zur Langzeitkonservierung und Vermehrung lebenden Materials, zur genetischen Charakterisierung der Proben und zur Evaluierung ihrer Werteigenschaften erforderlich.

Methoden zur Langzeitlagerung müssen gewährleisten, daß mit minimalem Energie- und Arbeitseinsatz genetische Ressourcen ohne mutative Veränderung erhalten werden können. Bedarf besteht hier im pflanzlichen Bereich vor allem an Methoden zur Erhaltung und Regeneration vegetativen Materials, um so im Vergleich zu Pollen- und Saatgutlagerung vorteilhafte Genkombinationen zu konservieren.

Die genetische Charakterisierung der Proben muß auf modifikatorisch unbeeinflußten Merkmalen beruhen. Standardisierte Methoden sind erforderlich, um international vergleichbare Daten zu erhalten. Hierbei werden vor allem Methoden der Nukleinsäureanalyse (RFLP, Gensonden) an Bedeutung gewinnen. Wegen der i.d.R. hohen Zahl zu analysierender Proben ist die Automatisierbarkeit der Analysemethoden wichtig.

Voraussetzung für diese Arbeiten ist die allgemeine Verfügbarkeit von Gensonden. Im Hinblick auf die Nutzung von Sonden und Daten aus RFLP-Analysen für die praktische Züchtung ist ebenfalls eine zentrale Datensammlung und -bereitstellung notwendig. BML bemüht sich um entsprechende zentrale Einrichtungen, die Material und Informationen aus Arbeiten zur Genomforschung sammeln und sowohl für weitere Forschungsarbeiten als auch für die Wahrnehmung gesetzlicher Aufgaben (Sicherheits- und Sortenprüfung, Veterinärkontrollen) und für die praktische Züchtung bereitstellen.

Zusätzliche Fördermaßnahmen sind vor dem Hintergrund weltweit ergriffener Initiativen und laufender Aktivitäten zu sehen. Die im Rahmen des Förderprogramms "Biotechnologie 2000" geförderten Maßnahmen sollen bestehende Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten zur Erhaltung und Nutzung tier- und pflanzengenetischer Ressourcen sinnvoll und wirksam ergänzen.

Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen (DSM)

Die DSM ist als wohl bedeutendste europäische Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen eine rechtlich selbständige Einrichtung in Form einer Gesellschaft mit beschränkter Haftung. Alleiniger Gesellschafter ist das Land Niedersachsen. Die DSM nimmt gleichzeitig als Patenthinterlegungsstelle für Mikroorganismen eine wichtige Funktion bei der Kommerzialisierung der Biotechnologie wahr.

Die DSM ist aus einer bereits 1969 begründeten Sammlung von Mikroorganismen im Göttinger Institut für Mikrobiologie hervorgegangen. Zunächst als Außeninstitut der GSF betrieben, wurde sie 1979 als Außenstelle der GBF übernommen. Vorbehalte bezüglich ihrer Unabhängigkeit als Patenthinterlegungsstelle und gleichzeitig Teil einer auf dem vom Wettbewerb geprägten Gebiet Biotechnologie tätigen Großforschungseinrichtung führten dann im Jahre 1988 zur heutigen Organisationsform.

Aufgabe der DSM ist es, den Bestand an für die industrielle und landwirtschaftliche Produktion bedeutsamen Mikroorganismen und Zellkulturen zu erhalten und zu erweitern. Hierzu unterhält sie eine mehr als 7.000 Bakterien, Plasmide, Pilze und Hefen umfassende biologische Sammlung, die der Forschung in der Wissenschaft und in der Industrie, für Lehrzwecke und andere Gebiete von Forschung und angewandter Wissenschaft zur Verfügung stehen. Die Sammlung ist Teil des Informationsnetzwerks über Mikroorganismen (MINE - Microbial Information Network in Europe), das im Rahmen des Biotechnologie-Aktionsprogramms der Kommission der Europäischen Gemeinschaften aufgebaut wurde.

Mit Unterstützung aus dem Programm "Angewandte Biologie und Biotechnologie" wurden die Tätigkeiten der DSM seit 1987 beträchtlich erweitert. Sie umfaßt heute außer Mikroorganismen Sammlungen von Plasmiden, Phagen, pflanzlichen Viren und pflanzlichen Zellen. Im Jahre 1989 wurde die Einrichtung einer Sammlung von menschlichen und tierischen Zellkulturen und Viren begonnen.

In Zusammenarbeit mit zahlreichen anderen europäischen Sammlungen biologischen Materials entwickelt die DSM eine Datenbank, die womöglich on-line innerhalb des MINE-Netzes verfügbar wird. Dieser Ausbau wird finanziell durch die Kommission der Europäischen Gemeinschaften unterstützt.

Die DSM informiert regelmäßig durch Kataloge über die vorhandene Sammlung: 1989 ist der "Catalogue of Strains" erschienen, im gleichen Erscheinungsjahr ein gesonderter Katalog über Pflanzenviren, und ein Katalog über die pflanzlichen Zellkulturen wird 1990 herausgegeben.

Die Tätigkeiten der DSM sind weltweit integriert, sie arbeitet mit anderen nationalen und internationalen Stellen zusammen, wie European Culture Collections' Organisation (ECCO), Information Center for European Culture Collections (ICECC), World Federation for Culture Collections (WFCC), von der UNESCO unterstützte Microbial Resource Centers (MIRCEN), Patentstellen und Datenbanken, wie dem Microbial Strain Data Network (MSDN) und dem World Data Centre for Microorganisms (WDC).

Als erster Schritt, die DSM als zentrale europäische Informationsstelle über Sammlungen des ICECC auszubauen, wurde die britische Datenbank MiCiS (Microbial Culture Information Service) in die DSM übernommen. Hauptaufgabe dieser Informationsstelle ist ein Sekretariat zu unterhalten, das Auskünfte über alle europäischen Sammlungen biologischer Kulturen gibt und als Ansprechpartner für die europäische Wissenschaft und alle Institutionen, die Beratung und Information über Kulturen und damit verbundene Fragen haben, dient.

Im Rahmen des Programms "Biotechnologie 2000" wird die DSM mit Projektmitteln unterstützt. Nach Abschluß der Auf- und Ausbauphase und nach Vorliegen von Erfahrungen über den Betrieb der DSM soll Mitte der 90er Jahre darüber entschieden werden, in welcher Organisationsform diese zentrale Sammlungs- und Informationsstelle weitergeführt werden soll.

Andere Mikroorganismensammlungen

Über eigene Mikroorganismensammlungen verfügen darüber hinaus - neben Wirtschaftsunternehmen, die im Bereich der klassischen und modernen Biotechnologie tätig sind - in der Regel alle einschlägigen Forschungseinrichtungen. Im Bereich des Bundes haben insbesondere die Forschungsanstalten des BML je nach ihrem Arbeitsgebiet umfangreiche Sammlungen, die für die Erfüllung ihrer Aufgaben notwendig sind, angelegt. Zu erwähnen sind hierbei vor allem die für Resistenztests, die Bestimmung von Pathotypen und die Züchtung von im biologischen Pflanzenschutz eingesetzten Nützlingen eingerichteten Sammlungen unterschiedlicher Stämme aller Arten von Bakterien, Pilzen, Viren, Mykoplasmen und Bodenschädlingen bei der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA), die in verschiedenen Bereichen des Landbaus (Ackerbau, Grünland, Obst- und Gemüsebau, Weinbau) und in

der Forstwirtschaft von Bedeutung sind. Sie werden in den entsprechenden Fachinstituten der BBA kultiviert und bereitgehalten. Die Bundesanstalt für Milchforschung unterhält eine umfangreiche Sammlung milchwirtschaftlich relevanter Nutz- und Schadkeime (Schimmelpilze, Bakterien, insbes. Milchsäurebakterien und deren Bakteriophagen, Hefen und mykotoxinbildende Schimmelpilze). Für gentechnische Arbeiten gibt es eine Sammlung von Vektoren mit entsprechenden Donor- und Akzeptorstämmen sowie Gensonden. Entsprechendes gilt für die Bundesanstalt für Fleischforschung, die über eine umfangreiche Sammlung von Mikroorganismen, die als Starterkulturen oder auch als Schadorganismen in der Fleischtechnologie und Fleischwirtschaft eine Rolle spielen, verfügt.

Datenbanken für Protein- und Gensequenzen

Die Entwicklung der Biowissenschaften hat in den letzten Jahren neue Dimensionen erreicht. Jede molekulare Untersuchung zur Funktion von Bausteinen des Lebens und jeder Versuch, ihre Struktur zu ändern, geht von der Information über die primäre Sequenz der die Bausteine bildenden Moleküle aus. Im Zusammenhang mit der Proteinforschung und der Genomforschung haben Datensammlungen biologischer Sequenzen für viele Disziplinen der Grundlagen- und angewandten Forschung große Bedeutung gewonnen. Die explosionsartige Zunahme der Datenmenge in den letzten Jahren hat den Einsatz der Informatik und leistungsstarker Computer in den Biowissenschaften unumgänglich gemacht. Leistungsfähige Datenanalyseprogramme sind heute Voraussetzung, um in der biologischen und biomedizinischen Grundlagenforschung, der Medizin und der Biotechnologie international bestehen zu können. Aber auch die Industrie sieht in einer guten Daten-Infrastruktur ein wirksames Mittel, die industrielle Wettbewerbsfähigkeit zu verbessern.

Prioritäten für die Errichtung von Datenbanken liegen (in der Reihenfolge) bei Nukleinsäuresequenzen, Peptidsequenzen, Strukturdaten über Biopolymere, Genkarten (Gensonden), Vektoren für Nucleinsäuresequenzen, Stammsammlungen und Zellinien sowie Monoklonalen Antikörper. Dabei ist der Betrieb von Datenbanken nicht a priori eine öffentliche Aufgabe. Öffentliche Mittel sollten sparsam zur Anschubfinanzierung zur Verfügung stehen, um potentiellen Betreibern einen Anreiz zu bieten. Nach der Aufbauphase müssen Datenbanken jedoch in eine institutionelle Trägerschaft (private und ggf. öffentliche Träger) überführt werden. Durch Gebühreneinnahmen für die angebotenen Dienstleistungen sollte ein wirtschaftlicher Betrieb möglich sein. Dies sichert auch, daß Datenbanken sich nicht am Bedarf vorbei etablieren. In Zusammenarbeit mit anderen europäischen Partnern und dem EMBL ist das DKFZ dabei, Aufgaben bei der Auswertung solcher Daten zu übernehmen.

Daten, die in die Datenbanken aufgenommen werden sollen, müssen dabei den internationalen Normen entsprechen, z.B. im Rahmen von CODATA (Council on Data for Science and Technology) des International Council of Scientific Unions. Nur so ist ein problemloser Zugriff und ein Nutzen der gesammelten Daten möglich. Um Kosten möglichst niedrig zu halten und regionale Unterschiede weitgehend auszuräumen,

sollte ein leistungsfähiges europäisches Netz Ziel der Entwicklungen sein. Dabei bilden nationale Datenbanken die Knotenpunkte einer übergeordneten Struktur. Ein koordiniertes Vorgehen ist bei der Einrichtung von Datensammlung erforderlich, um nationale Beiträge möglichst wirksam in europäische oder weltweite Netze einzubringen.

In den USA, Japan und in Europa wurden Datenbanken und Datenbibliotheken in Schwerpunktbereichen weitgehend mit Unterstützung öffentlicher Mittel errichtet. In den USA werden zwei große Datenbanken vom National Center for Biotechnology Information (NCBI; Budget 1989 $ 8 Mio) und von der National Library of Medicine (NLM) der National Institutes of Health (NIH; $ 27.6 Mio für Arbeiten zum Humangenom) betrieben. Die augenblicklich bestehende DNA-Bank (GenBank/EMBL) wird zur Zeit durch internationale Daten des EMBL (45 %), des japanischen DDBJ (5 %) und des amerikanischen Los Alamos National Laboratory (50 %) gebildet. Auf dem Gebiet der Protein-Sequenzdaten wurde eine ähnliche internationale Struktur durch MIPS (Martinsrieder Institut für Protein-Sequenzdaten) aufgebaut, das selbst 35 % der Daten liefert; mit 50 % sind USA und mit 15 % Japan an den gesammelten Daten beteiligt.

Ziel der internationalen Infrastrukturen ist die arbeits- und kostenteilige Bearbeitung und Eingabe von Biopolymerstrukturen. Auch werden unterschiedliche Veröffentlichungen über Daten ausgewertet und die gesammelten Daten untereinander ausgetauscht. Schwierigkeiten ergeben sich noch aufgrund der sich aus unterschiedlichen Entstehungsgeschichten ergebenden verschiedenen Formate zur Handhabung der Daten. Die Entwicklung gemeinsamer Formate oder von Software zur gegenseitigen Austauschbarkeit der Informationen ist daher vordringlich.

Über "Bio-Informatics in Europe" hat die Kommission der Europäischen Gemeinschaften eine Bestandsaufnahme und einen Vorschlag zur weiteren Strategie erarbeiten lassen. Mit Mitteln des Programms "Biotechnologie 2000" soll die Förderung der Daten-Infrastruktur durch die Kommission mit einem nationalen Beitrag wirksam ergänzt werden.

Informationsdatenbanken

Nach einer Studie des CEFIC (Conseil Européen des Fédérations de l'Industrie Chimique) sind Datenbanken, die Informationen anbieten über laufende Biotechnologieprojekte in Hochschulen- und Industrielabors, über Lieferanten von Fachmaterial und Geräten für moderne Biotechnologie, über Marktgrößen usw. von nachrangiger Bedeutung im Vergleich zu den Sequenzdateien. Derartige Informationen können kommerziellen Quellen entnommen werden. Gleichwohl sind solche Dateien nützlich bei der Anbahnung von Kooperationsprojekten innerhalb der EG oder im Rahmen von EUREKA, besonders für mittelständische Unternehmen.

5. Innerdeutsche Zusammenarbeit

Abkommen über die Zusammenarbeit auf den Gebieten der Wissenschaft und Technik (WTZ-Abkommen)

Das im Jahre 1987 geschlossene Abkommen zwischen der Regierung der Bundesrepublik Deutschland und der Regierung der Deutschen Demokratischen Republik bildete die Grundlage für die in den vergangenen Jahren begonnene Zusammenarbeit auch auf dem Gebiet der Biotechnologie. Die Thematik war durch die vereinbarte Projektliste wie folgt umrissen:

- Entwicklung und Anwendung leistungsoptimierter, technisch relevanter Mikroorganismen, einschl. extremophiler, methylotropher und thermophiler Mikroorganismen sowie Austausch technisch relevanter Stämme;

- Entwicklung und Anwendung freier und immobilisierter Enzyme, neue Wirk- und Impfstoffe;

- Bioverfahrenstechnik, einschl. Fermentersysteme, Meß-, Steuer- und Regelungstechnik, Biosensoren;

- Biologische Datenbanken: Entwicklung und Datenaustausch über Protein-, Enzym- und DNA-Sequenzen;

- Ethische Fragen sowie Sicherheitsaspekte der Biotechnolgie;

- Biotechnologische Verfahren der Wertstoffgewinnung, Abfallbeseitigung und Abwasserreinigung;

- Enzymatische Schlammstabilisierung;

- Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit durch Anbau eiweißreicher Futterpflanzen, Pflanzenschutz, Düngung, Fruchtfolgegestaltung und Bodenbearbeitung;

- Biotechnologische und molekularbiologische Probleme in der Pflanzen- und Tierzüchtung, darunter Nutzung verschiedener In-vitro-Techniken.

Als Formen der Zusammenarbeit kommen der Austausch von Informationen, die Organisation und Durchführung wissenschaftlicher Veranstaltungen, wie Symposien, Konferenzen, Ausstellungen, und der Austausch von Wissenschaftlern und Sachverständigen zu Informations-, Studien-, Lehr- und Forschungszwecken in Betracht. Darüber hinaus sind die Abstimmung und Durchführung von Forschungsprojekten sowie die gegenseitige Bereitstellung von Forschungsmaterial und von wissenschaftlichen Geräten und Ausrüstungen möglich.

Mit dem WTZ-Abkommen sollen die bereits bestehenden persönlichen Kontakte von Wissenschaftlern beider deutscher Staaten gefestigt und gefördert werden. Ein beim Institut für Gesellschaft und Wissenschaft (IGW) an der Universität Erlangen-Nürnberg eingerichtetes Büro für zwischenstaatliche Beziehungen (BzB) dient der administrativen Unterstützung der vereinbarten Projekte.

Auf der Basis des WTZ-Abkommens sind zu allen erwähnten Themenbereichen intensive Beziehungen zwischen Forschungsstellen in der Bundesrepublik Deutschland und der DDR entstanden. Unter den beteiligten Institutionen befinden sich Großforschungseinrichtungen (GBF, IBT/KFA), Institute der Bundesforschungsanstalten (z. B. BBA, FAL) und Universitätsinstitute sowie Institute der Akademie der Wissenschaften, der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften und Institute der Universitäten (z. B. Univ. Halle, Techn. Univ. Dresden).

Förderprogramm und Forschungslandschaft der DDR auf dem Gebiet der Biotechnologie

Nach Öffnung der Grenze haben sich die wissenschaftlichen Kontakte sprunghaft vermehrt. Neben gegenseitigen Laborbesuchen, die durch den freien Reiseverkehr ermöglicht wurden, hat es bereits konkrete Erweiterungen von Schwerpunkt- und Verbundprojekten gegeben. So konnte z. B. das Genzentrum Berlin sofort durch leistungsfähige Arbeitsgruppen der Humboldt-Universität Berlin ergänzt werden.

Zur gegenseitigen Annährung der Förderstrukturen durch das in Ost-Berlin neu eingerichtete Ministerium für Forschung und Technologie (MFT) an die des BMFT ist eine gemeinsame Arbeitsgruppe von Vertretern der Ministerien und Sachverständigen eingesetzt worden. Die Abgleichung der Förderprogrammme erwies sich als unproblematisch, da praktisch die gleichen innovativen Gebiete für die künftige biotechnolgische Entwicklung in Deutschland identifiziert wurden. Die Schwerpunkte des MFT-Förderprogramms sind

- Enzymtechnologie
- Biotechnologische Erschließung und Veredlung nachwachsender Rohstoffe
- Umweltbiotechnologie
- Proteintechnik
- und Genomanalyse
- Zelluläre Produktbildung und Technologien zur Zell- und Gewebekultivierung
- Grundlagen mikrobiologischer Leistung und Verfahren zur Wirkstoff- und Wertstoffgewinnung

Abb. 63 (s. auch Anhang A5)

– Biologische Sicherheit und Risikoeinschätzung.

Zur Durchführung der Projekte verfügt das MFT über einen eigenen Haushaltsansatz. Im Bereich der Projektförderung werden bereits begonnene und neu aufzunehmende anwendungsbezogene Forschungsaktivitäten mit den Fachgruppen der DECHEMA beraten. Die Drittmittel-Förderung der Grundlagenforschung, insbesondere an den Hochschulen, erfolgt nach den Verfahren der DFG. Über molekularbiologisch und biotechnisch arbeitende Forschungsstellen gibt die entsprechende Forschungslandschaft (Abb. 63) Auskunft.

Stärken der bisherigen Forschung in der DDR liegen in ihrem häufig stark anwendungsbezogenen Charakter, wenn unter Autarkiebestrebungen wissenschaftliche Zuarbeit zu Produktionen erbracht oder innerhalb der Forschung auch unmittelbar produziert wurde. Ein großes Potential liegt auch im Bereich der theoretischen Bearbeitung, soweit sie hinreichend und möglich war, auf den verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen. Ein erheblicher Nachholbedarf besteht, wie auf anderen Gebieten auch, im Bereich der Infrastruktur an den Universitäten sowie an gut ausgebildetem Personal für die biotechnologische Forschung. Schließlich werden stark anwendungsnahe Forschungs- und Produktionskapazitäten aus der Forschung ausgegliedert, die als Wirtschaftsunternehmen fortgeführt werden sollen. Hier sind entsprechende Strukturmittel erforderlich.

Die Forschungsinstitutionen werden bis Ende 1991 vom Wissenschaftsrat begutachtet. In der Zwischenzeit zu ergreifende Maßnahmen sollen so gestaltet werden, daß sie dem Ergebnis der Begutachtung nicht vorgreifen. Aus der zurückliegenden Erfahrung mit der Durchführung des Biotechnologieprogramms wäre mit Hilfe der Projektmittel die Einrichtung von zeitlich befristeten Nachwuchsgruppen zur Qualifikation junger Wissenschaftler und eine indirekt-spezifische Förderung der neu entstehenden Unternehmen auf dem Gebiet der Biotechnologie erforderlich.

6. Internationale Zusammenarbeit

Die Bedeutung der wissenschaftlich-technologischen Leistungskraft der Volkswirtschaften hat im internationalen Wettbewerb stark zugenommen. Die Forschungs- und Technologiepolitik hat dadurch einen erhöhten Stellenwert gewonnen. Die internationale Zusammenarbeit orientiert sich inhaltlich an den Forschungsschwerpunkten des Programms und soll die allgemeinen außen-, wirtschafts- und entwicklungspolitischen Ziele der Bundesregierung ergänzen.

In der Biotechnologie spielt die internationale Zusammenarbeit eine große Rolle, da viele Entwicklungen und Problemlösungen gleichzeitig in verschiedenen Staaten stattfinden. Der gegenseitige Wissens- und Erfahrungsaustausch hilft, Forschungszie-

le effizienter zu erreichen. Voraussetzung dafür ist, daß die Kooperation von echter Partnerschaft getragen und daß arbeits- und kostenteilig vorgegangen wird.

Auf dieser Grundlage bestehen bereits eine Reihe von internationalen Kooperationsvorhaben auf den verschiedenen Sektoren, von der Grundlagenforschung (Expressionssysteme, Neurobiologie, Genomforschung) über die angewandte Forschung (Arzneimittelentwicklung, Biomasseverwertung) bis hin zu Forschungs- und Entwicklungsarbeiten über konkrete Problemlösungen (biologische Entsorgungsverfahren) mit Ländern wie USA, Japan, Frankreich, Italien, Spanien, Portugal, Dänemark, Kanada, Israel, Ägypten, Indien und Indonesien.

Die internationale Kooperation in der Biotechnologie findet im Rahmen und in den Förderprogrammen der Kommission der Europäischen Gemeinschaften und darüber hinaus bilateral mit einzelnen Ländern der Europäischen Gemeinschaft und Osteuropas, mit Industrieländern außerhalb der Europäischen Gemeinschaft und mit Entwicklungs- und Schwellenländern statt. Die Bundesrepublik Deutschland ist zudem Mitglied der Europäischen Konferenz für Molekularbiologie (EMBC) und beteiligt sich am Europäischen Laboratorium für Molekularbiologie (EMBL) in Heidelberg.

Europäische Gemeinschaft

Eine starke internationale Kooperation hat sich über das nationale Biotechnologieprogramm hinaus im Zusammenspiel mit den Biotechnologieprogrammen der Kommission der Europäischen Gemeinschaften entwickelt. Die Kommission fördert im Rahmen ihrer Forschungsprogramme - ergänzend zu den nationalen Programmen der Mitgliedstaaten - speziell solche Projekte, bei denen die internationale wissenschaftliche Kooperation besonders sinnvoll erscheint. Sie unterstützt dabei vorwettbewerbliche, anwendungsorientierte Forschungsprojekte, wobei die Zusammenarbeit von Hochschulen und Industrie, besonders kleinen und mittelständischen Unternehmen, Vorrang hat. Schwerpunktmäßig werden auch solche Vorhaben gefördert, die für die Entwicklung gemeinsamer Normen in der Gemeinschaft bedeutsam sind (praenormative Forschung), hier speziell die biologische Sicherheitsforschung und die Entwicklung von Ersatzmethoden zum Tierversuch bei der Prüfung der Toxizität von Verbindungen. Deutsche Forschungsstellen sind fest in die Programme eingebunden und durchschnittlich zu etwa 20 % an allen Biotechnologievorhaben beteiligt.

Die Förderung innerhalb der Gemeinschaft zielt darauf ab, Engpässe der europäischen Länder auf dem Gebiet der Biotechnologie abzubauen. Dies umfaßt zunächst die Wettbewerbsfähigkeit der Forschungsinfrastruktur der einzelnen Mitgliedsstaaten im Vergleich zu den Forschungszentren in USA und Japan; hier kommt es auf eine Integration der europäischen Kapazitäten auf diesem Gebiet an.
Strukturell wird eine Arbeitsteilung und Spezialisierung einzelner Forschungsstellen bei gleichzeitiger Verbesserung der Kommunikation zwischen ihnen angestrebt; daraus folgt eine Effizienzsteigerung für das gesamte Forschungspotential der Gemeinschaft. Außerdem soll die Mobilität der Wissenschaftler im gesamten Gebiet der

Internationale Kooperationen
Kanada
USA
Brasilien
Irland
Großbritannien
Frankreich
Portugal
Spanien
Italien
Dänemark
Schweden
Finnland
UdSSR
Polen
Tschechoslowakei
Ungarn
Rumänien
Bulgarien
Türkei
China
Japan
Indonesien
Ägypten
Israel
BMFT
Biotechnologie 2000

Abb. 64

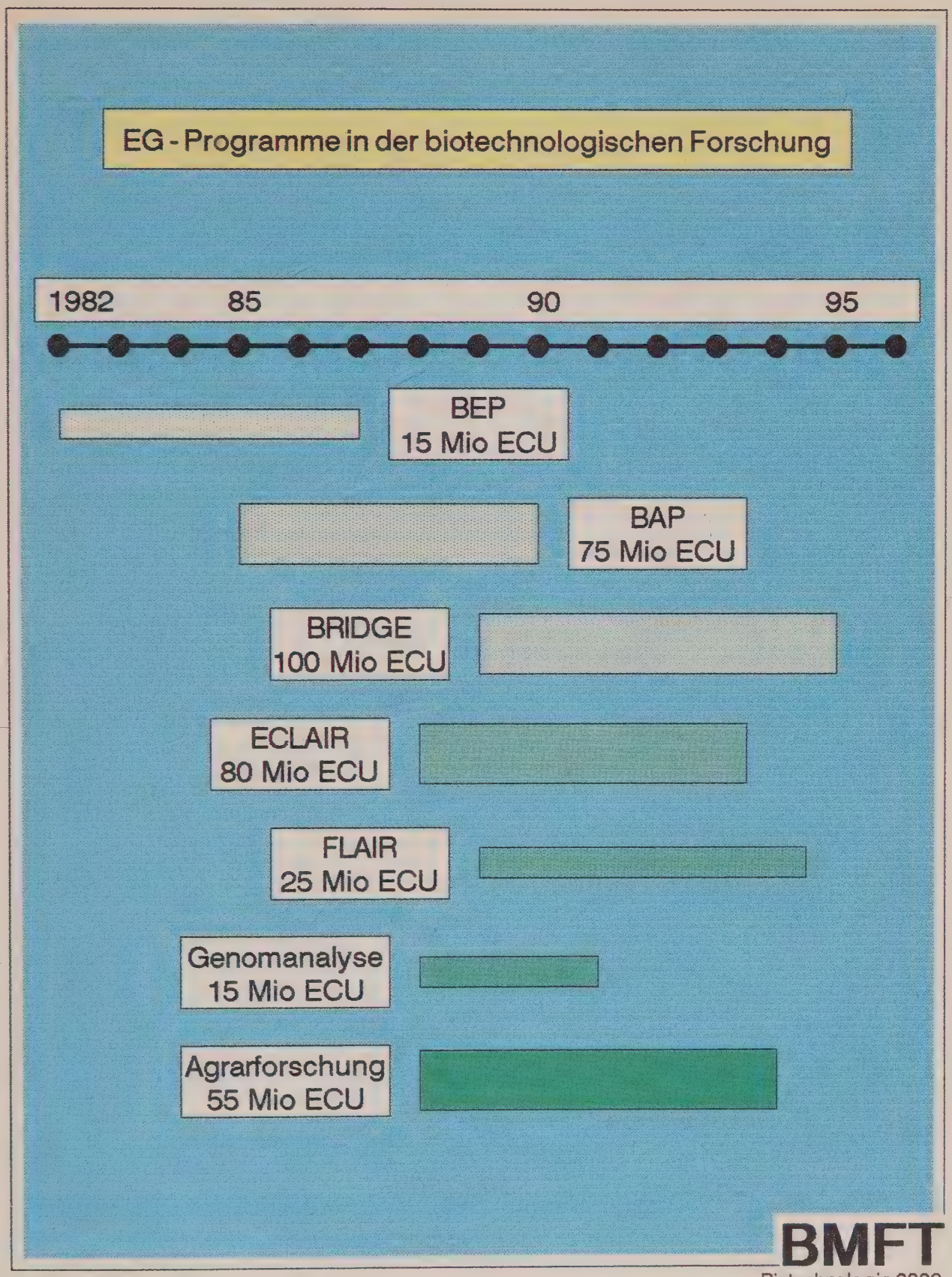


Abb. 65: BEP (BioEngineering Programme), BAP (Biotechnology Action Programme), BRIDGE (Biotechnology Research for Innovation, Development and Growth in Europe), ECLAIR (European Collaborative Linkage of Agriculture and Industry through Research), FLAIR (Food-Linked Agro-Industrial Research)

Europäischen Gemeinschaft erhöht und damit einem Rückstand bei der Ausbildung von Forschungspersonal begegnet werden. In europäischen Forschungslabors erarbeitete Ergebnisse werden zu wenig von der europäischen Industrie aufgegriffen und in Produkte umgesetzt; stattdessen werden sie häufig in außereuropäischen Staaten genutzt. Deshalb ist es eine wichtige Aufgabe gemeinschaftlicher Dimension, den Technologie- und Know-how-Transfer zwischen Forschungsinstituten und Industrie zu verbessern.

Vor diesem Hintergrund entstand 1982 das erste EG-Biotechnologieprogramm unter der Bezeichnung "Molekularbiologische Technik (BEP)" mit einer Laufzeit bis 1986. Der Anspruch dieses Programms mit einem Finanzvolumen von 15 Mio ECU lag darin, Lücken bei der Methodenentwicklung in der Molekular- und Zellbiologie für die Landwirtschaft und die land- und ernährungswirtschaftlichen Industriezweige zu schließen. Im Ergebnis sind sich die Forschungsstellen innerhalb der Europäischen Gemeinschaft nähergekommen: 53 Kooperationsabkommen konnten zwischen Laboratorien der verschiedenen Mitgliedstaaten abgeschlossen werden. Transnationale Arbeitsgruppen bildeten sich auf den Gebieten Enzymtechnik, Gentechnik und Sicherheitsforschung.

Das Vorläuferprogramm "BEP" bildete die Grundlage von "BAP" (Biotechnologie-Aktionsprogramm, 1985-1990, 75 Mio ECU), das mit den Themen,

- Aufbau einer unterstützenden Forschungs-Infrastruktur für die Biotechnologie in Europa

und

- Beseitigung von Engpässen, die die Nutzung von Stoffen und Methoden der modernen Biologie durch Industrie und Landwirtschaft verhindern,

auf mittel- bzw. langfristige Entwicklungen abzielt, die für die strategische Stärke der europäischen Industrie und der Landwirtschaft von Bedeutung sind. Maßnahmen im vorwettbewerblichen Bereich wurden ergriffen auf den Gebieten Bioinformationstechnik, Sammlung biotischer Stoffe, Enzymtechnik, Gentechnik, In-vitro-Kulturen pflanzlicher und tierischer Zellen, Sicherheitsforschung.
Als neues Element der EG-Biotechnologieförderung wurde CUBE (Concertation Unit for Biotechnology in Europe) eingerichtet, eine Stabsstelle bei der Kommission, die eine Reihe von Aufgaben bezüglich der Koordinierung, Information und Bewertung im Zusammenhang mit der Biotechnologie in verschiedenen Programmen der Gemeinschaft und der Mitgliedstaaten zur Effizienzsteigerung der forschungspolitischen Maßnahmen wahrnimmt.

Im Jahre 1990 ist das Biotechnologieprogramm "BRIDGE" (Biotechnology Research for Innovation, Development and Growth in Europe, 1990-1993, 100 Mio ECU) angelaufen mit den Forschungsinhalten

- Verarbeitung und Analyse bio(techno)logischer Daten,

- Methodenentwicklungen auf den Gebieten Proteindesign, Biotransformation und Genomaufklärung,

- Biologie von Zellen,

- praenormative Forschung.

Das Programm steht vor der Erweiterung um den Bereich "Biologische Kommunikationssysteme" (Immunologie, Neurobiologie, Funktion von Rezeptoren).

In Vorbereitung befindet sich das Programm "BIOTECH", das das BRIDGE-Programm auf dem Gebiet der angewandten Grundlagenforschung, mit Schwerpunkt im biomedizinischen Bereich, ergänzt. Es soll voraussichtlich 1991 beginnen (Laufzeit bis 1994, 164 Mio. ECU).

Das auf längerfristige Forschungsziele gerichtete Biotechnologieprogramm wird durch die stark praxisorientierten Programme "ECLAIR" (European Collaborative Linkage of Agriculture and Industry through Research, 1988-1993, 80 Mio ECU) und "FLAIR" (Food-Linked Agro-Industrial Research, 1989-1993, 25 Mio ECU) auf der Anwenderseite verstärkt.

Berührungspunkte der Biotechnologieprogramme und anderer FuE-Programme ergeben sich auch in den Bereichen Umwelt (Sicherheitsforschung, Datenbanken über Sicherheitsfragen), Medizin und Gesundheit (Informationsdatenbanken, Genomforschung) und Landwirtschaft.

COST-Europäische Kooperation auf dem Gebiet wissenschaftlicher und technischer Forschung

Auch im COST-Rahmen werden Vorhaben im Bereich der Biologie durchgeführt, gegenwärtig vor allem Vorhaben mit Bezug zur landwirtschaftlichen Forschung. Eine große Anzahl von COST-Aktionen wurde in das EG-Programm FLAIR übernommen. COST ist ein offener und flexibler organisatorischer Rahmen, in dem Vorhaben in einzelnen Staaten in verschiedenen Forschungsbereichen koordiniert werden. Die Initiativen kommen von den interessierten Forschungseinrichtungen; die Finanzierung muß von Ihnen selbst - durch nationale Budgets, teilweise auch durch die EG - sichergestellt werden.

Beteiligt sind die Mitgliedstaaten der EG, Schweiz, Österreich, Norwegen, Schweden, Finnland, Türkei, Jugoslawien sowie die EG-Kommission. Die Teilnahme ist allen Einrichtungen aus diesen Staaten nach dem "à-la-carte-Prinzip" offen; die Ergebnisse stehen allen Beteiligten zur Verfügung. Neuerdings können sich auch Einrichtungen

aus den demokratischen Staaten Mittel- und Osteuropas unter gewissen Voraussetzungen an den Vorhaben beteiligen.

EMBL - Europäisches Laboratorium für Molekularbiologie

Zusammen mit 12 weiteren westeuropäischen Staaten und Israel ist die Bundesrepublik Deutschland am EMBL in Heidelberg beteiligt. Das wissenschaftliche Programm setzt Schwerpunkte in der Struktur- und Zellbiologie, der Zelldifferenzierung, der Genstruktur und -regulierung. Die Funktion des EMBL als europäische Aus- und Fortbildungsstätte für Wissenschaftler wurde seit einiger Zeit auch auf Doktoranden erweitert. Um die ständig wichtiger werdende Synchrotronstrahlung optimal nutzen zu können, hat das EMBL am Hamburger Synchrotronstrahlungslabor (Hasylab) bei DESY eine Außenstelle errichtet. Ihre bisher vor allem auf Detektorentwicklung und Arbeiten in der Protein-Kristallographie konzentrierten Arbeiten haben durch den Einsatz der Synchrotronstrahlung einen erheblichen Aufschwung erfahren. Mit der Hamburger Außenstelle verfügt das EMBL für die nächsten Jahre über eine in Europa einmalige Experimentierstelle zur Vorbereitung auf die Synchrotronstrahlung für biologische und biochemische Zwecke.

Bei der Erforschung biologischer Strukturen und dynamischer biologischer Prozesse, besonders auf dem Gebiet der Membranbiologie, werden die Arbeiten des EMBL als weltweit führend anerkannt; bekanntgeworden sind in jüngster Zeit auch die Arbeiten im Bereich der Virus- und insbesondere Leukämieforschung. Wichtig ist daneben die Nukleotidsequenzen-Bank (DNA-Bank), deren weiterer Ausbau oder sogar Verselbständigung aus dem EMBL heraus ansteht, und ein in Europa einmalig verfügbares Kryo-Elektronenmikroskop. Angestrebt wird die Erweiterung der bestehenden Datenbanken auch auf Proteinsequenzen, Chromosomendateien, monoklonale Antikörper usw..

Die Zusammenarbeit des EMBL mit deutschen Forschungseinrichtungen und der deutschen Industrie ist umfassend: Mitarbeiter des EMBL halten regelmäßig Vorlesungen an der Universität Heidelberg und führen dort praktische Laborkurse und Seminare durch. Intensiv ist auch die Zusammenarbeit einer Reihe von Arbeitsgruppen im EMBL mit Firmen bei der Geräteentwicklung, z.B. einem schnellen DNA-Sequenzer, der auf die Verwendung von radioaktiven Substanzen verzichtet und auf dem Prinzip der Verwendung eines Lasers arbeitet.

EUREKA - Initiative für Technologische Zusammenarbeit in Europa

Wachsende Bedeutung für die kooperative Forschung und Entwicklung in der Biotechnologie gewinnen EUREKA-Vorhaben. An der EUREKA-Förderung insgesamt nimmt die Biotechnologie einen hohen Stellenwert ein. Es wird angestrebt, die deutsche Beteiligung zu verstärken.

EUREKA ist ein zwischenstaatlicher Rahmen für die technologische und wissenschaftliche Zusammenarbeit in Europa. Die EUREKA-Ministerkonferenz hat 1985 in einer Grundsatzerklärung die Ziele sowie Schwerpunkte, Kriterien und Organisation der Projekte festgelegt.

Ziel von EUREKA ist es, durch verstärkte grenzüberschreitende Projektzusammenarbeit von Unternehmen und Forschungsinstituten zur Schaffung einer europäischen Technologiegemeinschaft beizutragen. Auf diese Weise soll die Wettbewerbsfähigkeit Europas auf dem Weltmarkt im Bereich der Hochtechnologien gesteigert werden. EUREKA-Projekte sollen daher auf die Entwicklung von Produkten, Verfahren und Dienstleistungen mit einem weltweiten Marktpotential ausgerichtet sein. Eingeschlossen sind daneben auch Forschungs- und Entwicklungsvorhaben, die auf die Schaffung der technischen Voraussetzungen für eine moderne Infrastruktur oder auf die Lösung grenzüberschreitender Probleme abzielen (beispielsweise im Umweltbereich).

Projekte entstehen durch die Eigeninitiative der Kooperationspartner aus Industrie und Wissenschaft und durch Zustimmung der Regierungen derjenigen Länder, aus denen diese Partner kommen. Basis ist somit nicht ein vorab inhaltliches Programm, sondern EUREKA bietet einen offenen Rahmen für die Initiativen aus Unternehmen und Forschungseinrichtungen. Die Finanzierungsgrundlage der industriellen Kooperation liegt im Engagement der beteiligten Unternehmen selbst. Eine wachsende Zahl von ihnen führt die Projekte ohne Zuschüsse aus öffentlichen Haushalten durch. Soweit deutsche Partner Zuschüsse benötigen, kommen Fördermittel von Bund und Ländern sowie der Europäischen Gemeinschaft im Rahmen jeweils laufender Förderprogramme in Frage. Damit sind die öffentlich mitfinanzierten Projekte auch den dort jeweils geltenden Förderbedingungen und Qualitätskriterien unterworfen.

Die EG-Kommission ist seit Beginn der Initiative neben den 19 Mitgliedstaaten der EG, der EFTA und der Türkei gleichberechtigtes EUREKA-Mitglied. Im Hinblick auf den fortschreitenden Prozeß der europäischen Einigung bewirkt EUREKA pragmatisch und fallweise die Vorwegnahme und Vorbereitung auf den europäischen Binnenmarkt.

Die Bundesrepublik Deutschland ist derzeit an 15 Projekten in der Biotechnologie beteiligt; nur drei davon erhalten öffentliche Mittel aus dem Biotechnologieprogramm der Bundesregierung (Höchstfeld-NMR-Spektrometer, DK, D; Malaria-Impfstoffentwicklung, F, D; Mais-Gen, F, I, NL, D).

Zusammenarbeit mit Osteuropa

Biotechnische Forschung und Entwicklung ist wichtiger Bestandteil der nationalen Programme vieler osteuropäischer Länder. Das thematische Schwergewicht liegt überwiegend bei den traditionellen, relativ einfachen biotechnischen Verfahren im Bereich von Landwirtschaft, Nahrungsmittelindustrie und Pharmazie. Generell fehl-

ten bisher wirtschaftliche Anreize zur Übernahme von Innovationen in Betrieben. Daher ist die Zahl biotechnisch erzeugter neuer Produkte z. Zt. gering.

Die Situation der Wissenschaft in diesen Staaten ist wesentlich vom Devisenmangel, von Problemen der apparativen Ausstattung und auch noch von eingeschränkten Reisemöglichkeiten geprägt. Dennoch gibt es in den meisten Ländern ein oder mehrere herausragende, international konkurrenzfähige Institutionen, die sich mit moderner Biotechnologie beschäftigen. Die durch den Abschluß von Abkommen über die wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit mit osteuropäischen Staaten eingeleitete Intensivierung der Zusammenarbeit auch in der Biotechnologie wird durch die Liberalisierung in Osteuropa zweifellos begünstigt und fördernd aufgegriffen, zumal sich die Regierungen der Bedeutung der Zusammenarbeit mit westlichen Ländern für die erfolgreiche Entwicklung dieser High-Tech-Industrie bewußt sind.

Eurekaprojekte nach Technologiebereichen

Bereich	Zahl der Projekte	Geschätzte Kosten (MECU)	Anzahl der teilnehmenden Organisationen [1]
Biotechnologie	62	499	254
Kommunikationstech.	22	1.448	145
Energie	15	548	70
Umwelt	68	876	347
Informationstechnik	58	1.755	199
Laser	12	305	167
Materialforschung	32	238	106
Roboterentwicklung	79	1.218	416
Transportsysteme	21	750	94

[1] Mehrfachnennung möglich

BMFT
Biotechnologie 2000

Abb. 66: Im Bereich Biotechnologie ist die Bundesrepublik Deutschland mit 15 Projekten (128 MECU) und 24 Teilnehmern beteiligt.

Die Kooperation mit Ungarn ist z. Zt. am weitesten gediehen. Im Vordergrund stehen Fragen der Bioreaktorentwicklung, der Pflanzenzüchtung und der Sicherheitsforschung. Für die Kooperation mit der UDSSR gibt es bereits einen gemeinsamen Vereinbarungsrahmen sowie einzelne konkrete Projektvorschläge, die derzeit abgestimmt werden. In erster Linie wird es hierbei zunächst um die Stärkung solcher bilateraler Kontakte gehen, die bereits auf Wissenschaftsebene bestehen. Gleiches gilt für die Länder Bulgarien und Jugoslawien. Weitere Vorhaben, z.B. mit Polen und der CSFR sind in Vorbereitung.

Es ist davon auszugehen, daß sich nach der Prüfung der Gemeinsamkeiten in den Zielsetzungen von FuE-Vorhaben weitere Kooperationen ergeben und daß sich die Biotechnologie zu einem Schwerpunkt der Zusammenarbeit mit den Staaten Mittel- und Osteuropas entwickeln wird.

Zusammenarbeit mit Industrieländern

Auf Initiative der japanischen Regierung wurde das HUMAN FRONTIER SCIENCE PROGRAMME (HFSP) im Herbst 1989 von den Teilnehmern des Weltwirtschaftsgipfels beschlossen. Mitglieder des HFSP sind die Bundesrepublik Deutschland, Frankreich, Großbritannien, Italien, Japan, Kanada, USA und die Kommission der Europäischen Gemeinschaften.
Das Programm dient der Förderung von Forschungsvorhaben, Wissenschaftleraustausch und wissenschaftlichen Veranstaltungen in der Grundlagenforschung auf den Gebieten Molekularbiologie und Neurobiologie. Für die erste, dreijährige Phase wurde ein kleines Sekretariat in Straßburg eingerichtet. Die Mitglieder unterstützen das Programm durch freiwillige Finanz- und Sachbeiträge. Aus dem Programm "Biotechnologie 2000" sind für diesen Zweck in der ersten Phase Finanzmittel für Stipendien und Workshops vorgesehen.

Mit USA und Japan, Israel, Frankreich, Großbritannien, Spanien, Portugal, Schweden und Kanada bestehen Kooperationen auf unterschiedlichen Gebieten der Biotechnologie mit verschiedener Intensität. Zum Teil konzentriert sich die Zusammenarbeit auf ganz bestimmte gemeinsame Projekte (USA: Medizinforschung; Spanien: Pflanzenzüchtung; Frankreich: Expressionssysteme; Großbritannien: Sammlungsaktivitäten biotischen Materials) oder sie umfaßt einen wissenschaftlichen Austausch auf Regierungsebene und gemeinsame Workshops der Wissenschaftler auf einzelnen Themenfeldern der Biotechnologie (Japan).

Zusammenarbeit mit Entwicklungsländern

Biotechnologie und angewandte Biologie gewinnen auch für unsere Partnerländer der Dritten Welt zunehmend an Bedeutung. Sie können mit dazu beitragen, die Lebensbedingungen in den Entwicklungsländern zu verbessern.

Die Bundesregierung fördert im Rahmen der wissenschaftlich-technischen Zusammenarbeit mit Ländern der Dritten Welt auf diesem Gebiet neben bilateralen und multilateralen entwicklungspolitischen Maßnahmen vor allem die Erprobung neuer Technologien und die Anpassung vorhandener Technologien für den Einsatz in diesen Ländern. Hierdurch soll ein Beitrag zur Lösung von standortspezifischen Problemen geleistet und das FuE-Potential der Partnerländer verbessert werden. Wo es möglich ist, kann durch die Einbeziehung deutscher Unternehmen einerseits den entsprechenden Ländern der Zugang zu neuen Technologien und Produktionsverfahren eröffnet werden, andererseits die internationale Wettbewerbsfähigkeit aller Beteiligten gestärkt werden. Ziel dieser Kooperation soll es dabei sein, auch die Länder der Dritten Welt in die Lage zu versetzen, diese Technologien aus eigener Kraft nutzen und weiterentwickeln zu können, um nicht in neue langfristige Abhängigkeiten zu geraten.

Im Vordergrund der Probleme der Dritten Welt, zu deren Lösung die biotechnologische Zusammenarbeit einen Beitrag leisten kann, stehen:

- züchterische Verbesserung landwirtschaftlicher Nutzpflanzen und Anpassung an Klima und Standort;

- Einsatz von Biomasse für die Energie- und Rohstoffnutzung;

- Arzneimittelentwicklung gegen Tropenkrankheiten, insbesondere Malaria, Chagaskrankheiten, Schistosomiasis und Lepra;

- Entwicklung von Auswahl- und Testverfahren für Behandlungsmittel für Human- und Veterinärmedizin sowie für Pflanzenschutz und Schädlingsbekämpfung;

- Produktion von Eiweiß für Nahrungs- und Futtermittel;

- technologische Behandlung von Lebens- und Genußmitteln;

- Abwasser- und Abfallaufbereitung, insbesondere für Abfälle aus der Rohstoffverarbeitung und der Verarbeitung landwirtschaftlicher Produkte.

Neben diesen, nur beispielhaft genannten Themen werden in konkreten Einzelfällen auch Vorhaben gefördert, die sich künftig im Rahmen bilateraler und multinationaler Zusammenarbeit als notwendig erweisen.

V. FINANZRAHMEN

Für die Finanzierung der Fördermaßnahmen ist von 1989 bis 1994 ein Finanzvolumen von rd. 1,7 Mrd. DM vorgesehen:

A. **BMFT-Haushalt** *Biotechnolgie*

Jahr	89 IST	90 SOLL	91 SOLL	92 SOLL	93 SOLL	94 SOLL
in Mio DM	**232**	**250**	**263**	**274**	**285**	**292**
Steigerung ggü. Vorjahr		7,7%	5,2%	4,1%	4,0%	2,4%
davon institutionelle Förderung GBF, EMBL	60	70	74	77	80	79
BMFT-Projektförderung	171	180	189	197	205	213
davon Wirtschaft	56	71	72	77	78	79
nachrichtlich BMFT-Projektförderung *Biotechnologie/Energie*		**20**	**20**	**20**	**20**	**20**
B. **BML-Haushalt** *Biotechnologie* in Mio DM	**14,5**	**15,6**	**17,0**	**17,1**	**17,5**	
davon institutionelle Förderung von Bundesforschungsanstalten	14,4	15,5	16,9	17,0	17,4	
BML-Projektförderung*		0,1	0,1	0,1	0,1	

* geschätzt

VI. ANHANG

A.1 Glossar

AIDS: (engl.: acquired immune deficiency syndrome) erworbene Schwäche des Immunsystems; durch ein Virus (HIV: engl. human immune deficiency virus) verursachte Krankheit des Immunsystems.

Aminosäuren: Bausteine der Proteine; insgesamt gibt es mehr als 20 Aminosäuren, die die Eiweißstoffe aufbauen.

Antibiotika: Stoffwechselprodukte verschiedener (Mikro-)Organismen (wie z.B. Bakterien oder Pilze), die andere (Mikro-)Organismen in ihrem Wachstum hemmen oder abtöten.

Antibiotikaresistenz: Fähigkeit eines Mikroorganismus, widerstandsfähig gegen bestimmte Antibiotika zu sein und sich in ihrer Gegenwart vermehren zu können.

Antikörper: körpereigene Proteine, die zur Abwehr eingedrungener Fremdstoffe dienen.

antiviral: gegen Viren gerichtet.

Artenschutz: Aufgabenbereich des Naturschutzes mit dem Ziel, den Gesamtbestand an wildlebenden Tier- und Pflanzenarten innerhalb ihres natürlichen Areals in seiner gegebenen Vielfalt zu erhalten und zu fördern.

apathogen: nicht krankheitserregend.

Atrazin: ein Unkrautvertilgungsmittel (Herbizid).

Atom: kleinste Einheit, die die Eigenschaften eines chemischen Elements trägt.

Bakterien: einzellige Organismen, die keinen Zellkern besitzen; s.a. Prokaryonten.

Biologische Sicherheitsmaßnahmen: Verwendung geeigneter Empfängerorganismen oder Vektoren, die unter anderem folgende Eigenschaften haben: sie können sich nur unter Bedingungen vermehren, die außerhalb des La-

bors kaum oder überhaupt nicht angetroffen werden; sie können durch geeignete Maßnahmen unter Kontrolle gehalten werden und sind nicht krankheitserregend.

Biosphäre: Bereich, in dem Leben auf der Erde existieren kann.

Boten-RNA: (engl. messenger RNA, mRNA) RNA, die eine Kopie eines DNA-Stranges darstellt und deren Information in die Aminosäurensequenz eines Proteins umgesetzt wird.

Chromosomen: in jedem Zellkern von höheren Lebenwesen in artspezifischer Anzahl und Gestalt enthaltene Strukturen; sie enthalten u.a. einen DNA-Faden, auf dem die Erbanlagen (Gene) linear angeordnet sind; der Mensch hat 2 mal 23 Chromosomen; ein Chromosomensatz stammt vom Vater, der andere von der Mutter.

Codon: Folge von drei genetischen "Buchstaben" auf einem DNA-oder Boten-RNA-Molekül, die nach den Regeln des genetischen Codes den Einbau einer bestimmten Aminosäure in ein Protein steuert.

Cytoplasma: Zellplasma, "Zellsaft": lichtmikroskopisch nicht-strukturiert erscheinender Teil einer Zelle, in dem viele Stoffwechselreaktionen ablaufen.

Desoxyribose Zuckermolekül, Baustein der DNA.

diploid: Die Zelle enthält zwei Chromosomensätze, einen aus mütterlichem und einen aus väterlichem Erbmaterial.

Disposition: Veranlagung oder Empfänglichkeit für (eine) bestimmte Erkrankung(en).

DNA, DNS: engl. deoxyribonucleic acid; Desoxyribonukleinsäure; doppelsträngige DNA: normale Form der DNA, ihre Transport- und Verpackungsform. Einzelsträngige DNA: ein Strang der DNA-Doppelhelix. In dieser Form kann die genetische Information abgelesen werden, d.h. es kann die Boten-RNA synthetisiert werden.

DNA-Sequenz: Abfolge der DNA-Bausteine (Adenin, Thymin, Guanin und Cytosin) in einem DNA-Faden (DNA-Molekül).

Embryo:	Bezeichnung für die Frucht in der Gebärmutter während der Organentwicklung, das heißt beim Menschen während der ersten drei Monate der Schwangerschaft.
Embryologie:	Lehre von der Entwicklung des Embryos.
Enterobakterien:	Darmbakterien, z.B. Escherichia coli.
Enzym:	Biokatalysator; ermöglicht bzw. beschleunigt eine biochemische Reaktion, z.B. die Spaltung von Stärke zu Zucker oder das Schneiden von DNA (s. Restriktionsenzyme).
Eukaryonten:	Organismen, deren Zellen einen Zellkern besitzen; der Zellkern enthält den Hauptteil des genetischen Materials (Chromosomen) und ist von einer Kernmembran umgeben (vgl. Prokaryonten).
Evolution:	Entwicklung aller Lebewesen aus Urformen nach den Prinzipien der natürlichen Auslese.
exprimieren:	Umsetzen der genetischen Information über eine Boten-RNA in ein Protein.
Fetus oder Foetus:	Bezeichnung für die Leibesfrucht nach der Organentwicklung, d.h. beim Menschen etwa ab dem dritten Monat nach der Befruchtung der Eizelle.
Gen:	Abschnitt auf der DNA, welcher die Information zur Synthese einer Boten-RNA (mRNA) und damit zu einem Protein enthält.
Genetischer Code:	die Zuordnung von drei aufeinanderfolgenden genetischen "Buchstaben" zu einer bestimmten Aminosäure; der genetische Code ist universell (d.h. er gilt für alle Lebenwesen).
"Genetischer Fingerabdruck:	molekularbiologische Methode, die zur Personenidentifikation genutzt werden kann (z.B. Vaterschaftsnachweis).
Genom:	Summe der genetischen Informationen eines Organismus; das Genom des Menschen enthält etwa 50.000 bis 100.000 Gene.
Genomanalyse:	Untersuchungsmethoden zur Struktur oder Sequenzanalyse der DNA.
Gendiagnostik:	Untersuchung einzelner Gene, z.B. zur Erkennung von Risikofaktoren und Krankheiten durch Untersuchung des Genoms.

Genort: Bezeichnung für die Position eines bestimmten Gens innerhalb des Genoms.

Genotyp: Erbanlagen eines Organismus (vgl.: Phänotyp).

Gensonde: markierte DNA zur Hybridisierung (z.B. zur Identifizierung eines bestimmten DNA-Stückes aus einem DNA-Gemisch).

Gentechnik: Anwendung biologischer, molekularbiologischer, chemischer und physikalischer Methoden zur Analyse und Neukombination von Nukleinsäuren.

Gentherapie: Behandlung von Krankheiten durch Veränderung eines oder mehrerer Gene des Genoms.

Geschlossenes System: als geschlossenes System werden Einrichtungen bezeichnet, in denen gentechnische Arbeiten durchgeführt werden bzw. mit gentechnisch veränderten Organismen umgegangen wird, wobei physikalische Schranken verwendet werden, gegebenenfalls in Verbindung mit biologischen oder chemischen Schranken oder einer Kombination von biologischen und chemischen Schranken, um den Kontakt der verwendeten Organismen mit Menschen und der Umwelt zu begrenzen.

Granulozyten: Blutzellen.

Grundwasser: im Boden unter dem sogenannten Grundwasserniveau befindliches Wasser; es bildet die Hauptquelle unseres Trinkwassers.

Hämoglobin: Transportmolekül für Sauerstoff im Blut.

haploid: Zellen, die nur den einfachen Chromosomensatz tragen (Keimzellen).

Herbizid: Unkrautvertilgungsmittel.

HIV: (engl.: human immune deficiency virus) Erreger der Immunschwächekrankheit AIDS.

Hormone: verschiedenartige organische Substanzen, u.a. auch Proteine; Hormone werden im allgemeinen in Drüsen oder spezialisierten Zellen gebildet und sind meistens an einer anderen Stelle des Organismus wirksam; sie dienen der Informationsübermittlung zwischen Zellen, Geweben oder Organen; ihre Wirkung ist über

Regelkreise fein abgestimmt; Beispiele: Insulin, Schilddrüsenhormone, Sexualhormone.

Humangenetik: Teilgebiet der Genetik, das sich mit den Erscheinungen der Vererbung beim Menschen beschäftigt.

Hybridisierung: hier: aus einzelsträngigen Nukleinsäuren wird durch Basenpaarung ein Doppelstrang gebildet; zur Hybridisierung werden z. B. Gensonden, die eine Markierung tragen, eingesetzt.

Immunmodulation: Anpassung des Immunsystems.

Immunsystem: alle zellulären und nicht-zellulären Bestandteile eines Organismus (Wirbeltiere und Menschen), die an Abwehrreaktionen gegen meist körperfremde Substanzen (Antigene) beteiligt sind.

Insektizid: Insektenvernichtungsmittel.

Insulin: Hormon, das in der Bauchspeicheldrüse gebildet wird und den Blutzuckerspiegel reguliert.

Interferone: Proteine, die die Vermehrung von Viren verhindern (Oberbegriff: Virostatika).

In vitro: lat.: "im Glas"; im Reagenzglas, außerhalb des lebenden Organismus bzw. außerhalb des Körpers.

In-vitro-Fertilisation: Befruchtung einer Eizelle außerhalb des Organismus.

In vivo: lat.: im lebenden Organismus.

Kanzerogenität/ Karzinogenität: die Eigenschaft, Krebs auslösen zu können; Krebs kann u.a. durch verschiedene Chemikalien, physikalische Ursachen oder Viren ausgelöst werden.

kartieren: in der Gentechnik: Bestimmung der Lage eines Gens oder der Erkennungsstelle eines Restriktionsenzyms in einem DNA-Molekül.

Katalysator: ermöglicht und beschleunigt eine Reaktion; Enzyme sind biologische Katalysatoren.

Keimbahn: Zellen, die von Keimzellen (Geschlechtszellen) ausgehen.

Keimbahngen-therapie:	bei dieser Methode werden Eingriffe in die Keimzellen vorgenommen: das Ergebnis wird damit erst in der nächsten Generation sichtbar. Eingriffe in die Keimbahn des Menschen sind in der Bundesrepublik Deutschland verboten.
Keimzelle:	Geschlechtszellen eines Organismus, z.B. Eizelle; Spermazelle, Pollen.
Klon:	genetisch einheitliche Zellen (eine Kolonie), die durch Teilung aus einer einzigen Zelle entstanden sind.
klonieren:	Erzeugung von erbgleichen Zellen durch mehrfache Teilung einer einzigen Zelle; in der Gentechnik: in einen Klonierungsvektor (z.B. Plasmid) wird die gewünschte Passagier-DNA eingebracht und anschließend in eine Zelle (z.B. eine Bakterienzelle) eingeschleust. Durch Teilung entsteht eine Kolonie genetisch einheitlicher Zellen.
komplementär:	hier: Das "Zueinanderpassen" der Basen im DNA-Doppelstrang: Adenin (A) paart sich mit Thymin (T) und Guanin (G) mit Cytosin (C).
Krebszellen:	allgemeine Bezeichnung für unbegrenzt teilungsfähige Zellen.
Leukozyten:	Blutzellen, sog. weiße Blutkörperchen.
Ligase:	Enzym, das DNA-Doppelstrangstücke verbinden kann.
Lymphozyten:	Zellen des Abwehrsystems.
Makrophagen:	Freßzellen, die Gewebetrümmer, Fremdkörper, Mikroorganismen und Zellen aufnehmen und verdauen; stimulieren des Immunsystem.
Mikroflora/ Mikroorganismen:	der Teil der Organismen eines Ökosystems, der mit bloßem Auge nicht mehr zu erkennen ist; er besteht im wesentlichen aus Bakterien, Algen, Pilzen und Protozoen.
Molekül:	kleinste Einheit einer chemischen oder biochemischen Verbindung.
Molekulare Genetik:	Teilgebiet der Genetik (Erblehre), das sich mit den stofflichen Grundlagen der Vererbung befaßt.

Monogene Erbkrankheit: Erbkrankheit, die auf der veränderten Struktur eines einzigen Gens beruht (vgl. multifaktoriell bedingte Erbkrankheit).

Monokultur: hier: Pflanzenbestand aus nur einer Art.

Monozyten: weiße Blutzellen, die in den Lymphknoten und der Milz gebildet werden.

m(essenger) RNA(engl.): s. Boten-RNA.Multifaktoriell bedingte Erbkrankheit: eine Krankheit beruht auf mehreren "defekten" Genen (polygene Erbkrankheit) oder auf einer Wechselwirkung von Gendefekten und Umweltfaktoren.

Mutagenese: Erzeugung von Mutationen, z.B. durch Chemikalien oder Strahlung.

Mutante: ein durch Mutation veränderter Organismus; den Ausgangsstamm bezeichnet man als Wildtyp.

Mutation: Veränderung des Erbgutes durch Veränderung der DNA; Mutationen können spontan auftreten, werden aber verstärkt ausgelöst durch verschiedene Faktoren, wie z.B. bestimmte Chemikalien und energiereiche Strahlung.

Nährboden: festes Wachstumsmedium für Zellen; die Festigkeit wird durch Zugabe von Agar, einer aus Algen isolierten Substanz, erreicht.

Neukombination: Verbindung von DNA aus verschiedenen Quellen.

Nukleinsäuren: DNA und RNA.

Ökogenetik: Lehre von den Wechselwirkungen zwischen Umwelteinflüssen und genetisch bedingten Reaktionsweisen.

Ökologie: Lehre vom Haushalt der Natur. Der Begriff wurde von E.Haekkel 1886 eingeführt für denjenigen Teilbereich der Biologie, der sich mit den Wechselbeziehungen zwischen den Organismen und der unbelebten und belebten Umwelt befaßt.

Ökosystem: funktionelle Einheit der Biosphäre als Wirkungsgefüge aus Lebewesen, unbelebten natürlichen und vom Menschen geschaffenen Bestandteilen, die untereinander und mit ihrer Umwelt in energetischen, stofflichen und informatorischen Wechselwirkungen stehen.

Ökotoxikologie: Wissenschaft von den Wirkungen schädlicher Stoffe auf Ökosysteme oder Teile von ihnen.

Onkogene: Gene, durch deren Wirkung eine Zelle zur Tumorzelle werden kann.

Parasit: Schmarotzer; Organismus, der auf Kosten anderer lebt.

Passagier-DNA: Erbsubstanz, die mittels eines Vektors in eine Wirtszelle eingeführt und dort vermehrt wird.

pathogen: krankheitserregend, krankmachend.

Penicillin: Antibiotikum, das die Zellwand-Synthese von vielen Bakterien blockiert und damit deren Vermehrung verhindert.Phänotyp:Erscheinungsbild eines Organismus, wie es aufgrund seiner Erbanlagen (Genotyp) und durch die Umwelt beeinflußt ausgeprägt ist.

Plasmide: ringförmige, geschlossene DNA-Moleküle, die sich in ihren Wirtszellen autonom vermehren können.

Plasminogen-Aktivatoren: Enzyme, die die inaktive Vorstufe Plasminogen in das aktive Enzym Plasmin, das an der Blutgerinnung beteiligt ist, überführen.

Pränatale Diagnostik: vorgeburtliche Untersuchung des Embryos/Fötus.

Prokaryonten: einzellige Organismen, ohne Zellkerne (vgl. Eukaryonten).

Proteine: Eiweißstoffe; Moleküle, die aus Aminosäuren aufgebaut sind. Proteine übernehmen in Organismen vielfältige Funktionen (Beispiele: Enzyme, Hämoglobin, Hormone, Keratin usw.).

Protozoen: tierische Einzeller.

Rekombinante DNA: DNA-Moleküle, die durch In-vitro-Verknüpfung von verschiedenen DNA-Molekülen entstanden sind.

RNA, RNS: engl. ribonucleic acid, Ribonukleinsäure, s. Boten-RNA.

resistent: widerstandsfähig.

Resistenzgene: Gene, deren Aktivität die Wirtszelle resistent gegen z.B. Toxine, Antibiotika, Schwermetalle oder auch bestimmte Umweltbedingungen macht.

Restriktionsenzyme: (Restriktionsendonukleasen): Enzyme, die eine bestimmte "Buchstabenabfolge" (Basensequenz) in DNA-Molekülen erkennen und den DNA-Doppelstrang an definierten Stellen "schneiden".

Retroviren: einzelsträngige Viren, die nur RNA enthalten, z.B. das AIDS-Virus; sie bauen ihre eigene Erbinformation in die DNA der befallenen Zellen ein und vermehren sich, indem sie den Teilungsvorgang der Wirtszelle nutzen; das dazu nötige Enzym, die reverse Transkriptase, befindet sich in der Virushülle.

Reverse Transkriptase: Enzym, das von RNA eine komplementäre DNA (engl. complementary DNA (cDNA)) herstellen kann.

Ribonukleinsäure: s. RNA.

Ribose: Zuckermolekül, Baustein der RNA.

Ribosom: aus zwei Untereinheiten zusammengesetzte Struktur aller Organismen, an der die Proteinbiosynthese abläuft.

Salztoleranz: Fähigkeit von Organismen, bei relativ hohen Salzkonzentrationen im Boden zu überleben.

Selektion: Auswahl; hier: Auswahl von Organismen mit einer veränderten Eigenschaft.

Sequenz: Abfolge der Bausteine der Nukleinsäuren.

Sequenzierung: Bestimmung der Folge der Bausteine in einem Molekül (z.B. Basenabfolge in der DNA oder Aminosäurenabfolge in einem Protein).

Somatische Gentherapie: Heilbehandlung von Genen der Körperzellen (Somazellen); es erfolgt kein Eingriff in die Zellen der Keimbahn.

Strukturgene: Teile eines Chromosoms oder Genoms, deren Information über die Boten-RNA in Proteine umgesetzt wird.

Symbiose: Lebensgemeinschaft von verschiedenen Lebewesen.

Synthese: Aufbau chemischer Verbindungen aus einfacheren Ausgangsstoffen.

Totipotenz: Fähigkeit einer Zelle, sich zu allen möglichen Zelltypen zu differenzieren.

Toxine: giftige Stoffwechselprodukte von Mikroorganismen, Pflanzen und Tieren.

Transformation: in der Gentechnik: Einführung einer Passagier-DNA mittels eines Klonierungsvektors, z.B. eines Plasmids in eine Zelle; in der Zellbiologie: der Vorgang der bösartigen Entartung einer höheren Zelle, d.h. es entsteht eine Krebszelle.

Transkription: Umschreibung der DNA in eine Boten-RNA.

Translation: Übersetzung der Information der Boten-RNA in die Aminosäuresequenz eines Proteins nach den Regeln des genetischen Codes.

T-Zellen: Zellen des Immunsystems.

Vakzine: Impfstoff (z.B. gegen Pocken, Kinderlähmung, Hepatitis B).

Vektor: in der Gentechnik: DNA-Segment, das sich in einer Zelle selbständig vermehren kann (z.B. Plasmide); Vektoren dienen als Transport- und Vermehrungsmolekül für fremde DNA-Fragmente (Passagier-DNA), die in Zellen eingeführt werden können; dort vermehrt sich mit dem Vektor auch die Passagier-DNA.

Viren: Erreger von Infektionskrankheiten bei Menschen, Tieren, Pflanzen und Bakterien, die zur Vermehrung auf die Stoffwechselmechanismen von lebenden Wirtszellen angewiesen sind.

Virostatika: Substanzen, die die Vermehrung von Viren in der Zelle bzw. dem Organismus verhindern oder zumindest verringern.

Wachstumshormon: Hormon, das im Zusammenwirken mit anderen Hormonen Wachstum und Entwicklung reguliert.

Wirtszelle: Zelle, die einem in ihr lebenden Parasiten - zum Beispiel einem Virus oder einem Plasmid - als Lebensraum dient und die Voraussetzungen für seine Vermehrung liefert.

Zelle:	kleinste selbständig lebens- und vermehrungsfähige Einheit.
Zellkern:	Ort, in dem sich bei höheren Organismen der Hauptteil der DNA befindet.
Zellmembran:	biologische Membran, die der äußeren Umhüllung einer Zelle dient und u.a. den Stoffein- und -austritt reguliert.
Zellplasma:	s. Cytoplasma.
Zygote:	befruchtete Eizelle; Ausgangszelle der Embryonalentwicklung.

A.2 Bekanntgabe von Förderschwerpunkten und Förderkonzepten

BMFT-Forschungsförderkonzept "Biosensoren"
Bonn, Juni 1988

BMFT-Forschungsförderkonzept "Neurobiologie"
Bonn, September 1988

BMFT-Forschungsförderkonzept "Ersatzmethoden zum Tierversuch"
Bonn, Mai 1989

BMFT-Forschungsförderkonzept " Biologische Wasserstoffgewinnung"
Bonn, Januar 1989

BMFT-Forschungsförderkonzept "Biologische Sicherheitsforschung"
Bonn, März 1990

BMFT-Forschungförderkonzept "Nachwachsende Rohstoffe"
Bonn, Juli 1990

in Vorbereitung:
Biotechnologie und Umweltschutz

A.3 Hinweise für Antragsteller

1. Direkte Projektförderung

Die FuE-Vorhaben sollen in der Regel von Wirtschaftsunternehmen als Verbundprojekte oder in Form von Arbeitsgemeinschaften zwischen öffentlichen und industriellen Einrichtungen durchgeführt werden. Gefördert werden FuE-Vorhaben, an deren Durchführung ein öffentliches Interesse besteht und die mit einem erheblichen technisch-wissenschaftlichen Risiko verbunden sind. Die Vorhaben dürfen nicht begonnen worden sein.

Ein FuE-Vorhaben kann nur gefördert werden, wenn es vom Antragsteller ausreichend genau beschrieben und begründet wird, der Antragsteller über die notwendige fachliche Qualifikation und eine ausreichende Kapazität zur Durchführung von FuE-Vorhaben der beantragten Art verfügt, die Vermögensverhältnisse gesichert sind und das Rechnungswesen geeignet ist, die ordnungsgemäße Verwendung der Bundesmittel nachzuweisen und das Vorhaben in der Bundesrepublik Deutschland durchgeführt und verwertet wird.

Die Förderung erfolgt in der Regel durch Zuwendungen und setzt eine Eigenbeteiligung des Zuwendungsempfängers voraus, die bei Wirtschaftsunternehmen grundsätzlich mindestens 50 % betragen soll.

Die Bedingungen für Zuwendungen durch den Bundesminister für Forschung und Technologie an Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft ergeben sich aus den "Nebenbestimmungen für Zuwendungen auf Kostenbasis des Bundesministers für Forschung und Technologie an Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben (NKFT 88)". Für andere Antragsteller gelten grundsätzlich die "Besonderen Nebenbestimmungen des BMFT zur Projektförderung auf Ausgabenbasis (ANBest-P-BMFT)". Anträge auf Förderung eines FuE-Vorhabens sind zu richten an:

Projektträger Biologie,
Energie und Ökologie (BEO)
Postfach 19 13
5170 Jülich 1
(Tel.: 02461/615543).

Beim Projektträger sind Antragsformulare mit Hinweisen sowie die oben erwähnten Nebenbestimmungen erhältlich. Es empfiehlt sich, vor Antragstellung mit dem Projektträger Kontakt aufzunehmen, um das geplante Arbeitskonzept anhand eines kurzen Arbeitspapiers zu erörtern.

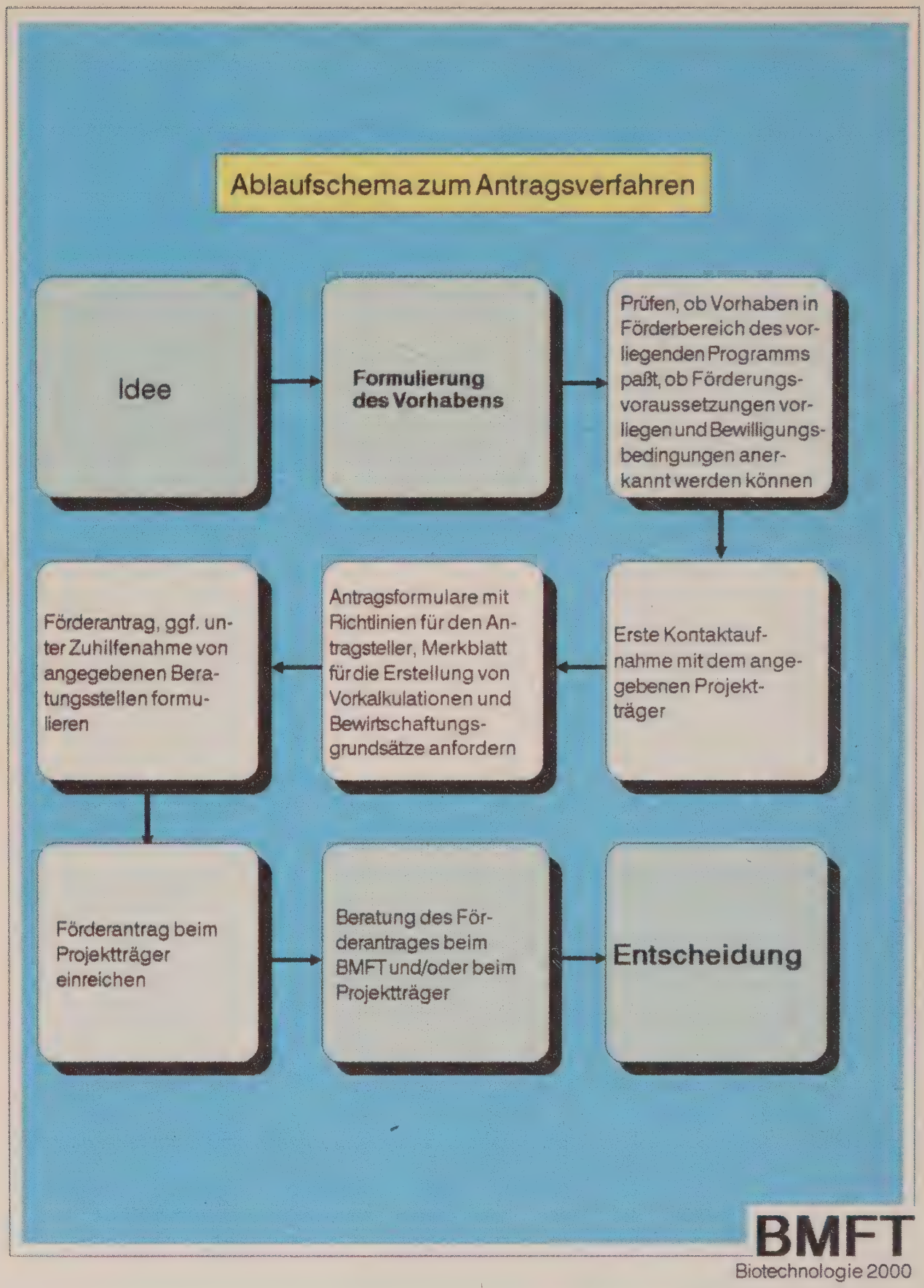

Ablaufschema zum Antragsverfahren
Idee
Formulierung des Vorhabens
Prüfen, ob Vorhaben in Förderbereich des vorliegenden Programms paßt, ob Förderungsvoraussetzungen vorliegen und Bewilligungsbedingungen anerkannt werden können
Erste Kontaktaufnahme mit dem angegebenen Projektträger
Antragsformulare mit Richtlinien für den Antragsteller, Merkblatt für die Erstellung von Vorkalkulationen und Bewirtschaftungsgrundsätze anfordern
Förderantrag, ggf. unter Zuhilfenahme von angegebenen Beratungsstellen formulieren
Förderantrag beim Projektträger einreichen
Beratung des Förderantrages beim BMFT und/oder beim Projektträger
Entscheidung
BMFT
Biotechnologie 2000

Abb. 67

2. Indirekte Fördermaßnahmen

Die für eine Antragstellung erforderlichen Richtlinien und die für die Vorhabenabwicklung notwendigen Nebenbestimmungen werden zu gegebener Zeit gesondert bekanntgegeben.
Anfragen sind an den Projektträger Biologie, Ökologie, Energie (PT BEO, Anschrift. s. 1.) zu richten.

3. Weitere Informationen

Über Fördermöglichkeiten und Beratungshilfen informiert eine umfassende Broschüre "Ratgeber Forschung und Technologie", die erhältlich ist bei

Verlagsgruppe
Deutscher Wirtschaftsdienst
Marienburger Straße 22

5000 Köln 51

A.4 Übersichten zur Forschungsförderung in der Biotechnologie

1. Forschungsförderung

1.1 Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

1.1.1 Schwerpunktprogramme

Medizin

228 Biologie und Klinik der Reproduktion

250 Mechanismen der Pathogenität medizinisch bedeutsamer Bakterien

238 Persistierende Virusinfektionen: Molekulare Mechanismen und Pathogenese

257 Molekulare und klassische Tumorcytogenetik

259 Nociception und Schmerz

261 Neuropeptide

262 Ursachen und Folgen des Insulinmangels

268 Molekulare und immunologische Mechanismen der Wirt-Parasit-Interaktionen

273 Neurobiologische Determinanten sensomotorischer und kognitiver Störungen bei Schizophrenen

Biologie

244 Methanogene Bakterien

236 Molekulare Mechanismen zellulärer Signalaufnahme

246 Biologische Grundlagen für die Primatenhaltung

248 Experimentelle Neukombination von Nucleinsäuren (Gentechnologie)

255 Organisation, Struktur und Funktion des Haupt-Histokompatibilitätskomplexes (MHC) bei Mensch und Tier (Immungenetik)

254 Molekulare Biologie und Pathobiochemie des Bindegewebes

232 Molekularbiologie der höheren Pflanzen

233 Zytoskelett

237 Biophysik der Organisation der Zelle

256 Analyse des menschlichen Genoms mit molekularbiologischen Methoden

260 Physiologie und Pathophysiologie der Eicosanoide

263 Physiologie der Bäume

264 Wege zu neuen Produkten und Verfahren der Biotechnologie

265 Intrazelluläre Symbiose

266 Dynamik und Stabilisierung neuronaler Strukturen

267 Molekulare Grundlagen der biologischen Musterbildung

269 Molekulare Mechanismen der Signaltransduktion in Membranen

271 Protein-Design

272 Kern-Cytoplasma-Transport

Ökologische, toxikologische und arbeitsmedizinische Fragen

227 Mechanismen toxischer Wirkungen von Fremdstoffen

223 Entwicklung eines integrierten Systems der Pflanzenproduktion unter Beachtung ökonomischer und ökologischer Aspekte des Pflanzenschutzes im Weizen

270 Chemische Ökologie - Verhaltensmodifizierende Naturstoffe

Agrar- und Forstwissenschaften

713 Genese und Funktion des Bodengefüges

714 Genetische Mechanismen für die Hybridzüchtung

715 Genomanalyse und Gentransfer beim Nutztier

1.1.2 Forschergruppen

Funktionelle und strukturelle Adaptation der Niere, Heidelberg

Morphogenese im Nervensystem und ihre Beziehung zur Funktiogenese, Göttingen

Aphasie und kognitive Störungen, Aachen

Psychobiologie der Wahrnehmung, München

Obstruktive Atemwegserkrankungen: Mediatoren und nervöse Kontrolle, Bochum

Weiterentwicklung der klinischen Transplantation von Leber, Herz und Lunge, Hannover

Dynamische und statische Biostereometrie, Münster

Ökophysiologie: Photosynthetische Stoffproduktion, Wasserhaushalt und Streßverhalten von Wild- und Kulturpflanzen, Würzburg

Stoffwechsel- und membranphysiologische Grundlagen ökologischer Anpassung von höheren Pflanzen: Kohlenstoff-, Mineralstoff- und Wasserhaushalt, Darmstadt

Membrankontrolle der Zellaktivität, Bochum

Molekularbiologische Untersuchungen zur Keimzelldifferenzierung und frühen Embryonalentwicklung beim Säuger, Göttingen

Autotrophe Bakterien, Göttingen

Struktur, Funktion und Ausbildung von Membranen phototropher Prokaryonten, Freiburg

Gastrointestinale Barriere, HannoverVirus-Zellwechselwirkungen: Modulation durch virale und zelluläre Kontrollelemente, München

Proteinbiosynthese: Mechanismen und Regulation, Hamburg

Immundysregulation und maligne Lymphome, Köln

Immunologische und molekularbiologische Analyse autoreaktiver T- und B-Zellklone und ihrer zugehörigen Autoantigene bei Patienten mit rheumatoider Arthritis, Freiburg

Serologischer Nachweis von Pestiziden und deren Metaboliten im Wasserkreislauf, Freising

Biosynthese, Struktur und Wirkungsweise der am Stickstoff-Stoffwechsel beteiligten Metallo-Enzyme mit besonderem Bezug zur N2-Fixierung und zur Photosynthese, Bielefeld

Die Regulation von Entwicklungsvorgängen bei Eukaryonten, Kiel

Regulation der männlichen reproduktiven Funktionen, Münster

Funktionelle Domänen von Membranproteinen, Marburg

Pathogenitätsmechanismen von Viren, Gießen

Steuerungssysteme in den Gonaden und akzessorischen Geschlechtsdrüsen, Hamburg

Expression und Interaktion von Funktionselementen in der Biogenese pflanzlicher Organellen, Bochum

Lernen, Gedächtnis und Neuromodulation bei Arthropoden, Berlin

Entwicklung von Verfahren zur extensiven, tiergebundenen Grünlandnutzung unter produktionstechnischen, ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten, Kassel

Transkriptionssignale, Erlangen

Transkriptionskontrolle, Marburg

DNA-Viren des hämatopoetischen Systems, Erlangen

Neurobiologie des visuellen Systems, Bochum

1.1.3 Sonderforschungsbereiche

Medizin

31 Medizinische Virologie (Tumorentstehung und -entwicklung), Freiburg

47 Pathogenitätsmechanismen von Viren, Gießen

102 Experimentelle und klinische Leukämie- und Tumorforschung, Essen

113 Diabetesforschung, Düsseldorf

120 Leukämieforschung und Immungenetik, Tübingen

154 Klinische und experimentelle Hepatologie, Freiburg

165 Genexpression in Vertebraten-Zellen, Würzburg

172 Molekulare Mechanismen kanzerogener Primärveränderungen, Würzburg

174 Risikoabschätzung von vorgeburtlichen Schädigungen, Berlin

175 Implantologie, Tübingen

200 Pathologische Mechanismen der Hirnfunktion, Düsseldorf

207 Grundlagen und klinische Bedeutung der extrazellulären limitierten Proteolyse, München

215 Tumor und Endokrinium, Marburg

217 Regulation und Genetik der humanen Immunantwort, München

220 Funktionsgerichtete Anpassung und Differenzierung neuronaler Systeme, München

232 Funktion und Defekte von Rezeptorsystemen, Hamburg/Lübeck

234 Experimentelle Krebs-Chemotherapie, Wirkstoffsynthese und -prüfung an hormonabhängigen Tumoren, Regensburg

242 Koronare Herzkrankheit, Prävention und Therapie akuter Komplikationen, Düsseldorf

244 Chronische Entzündungen, Hannover

246 Proteinphosphorylierung und intrazelluläre Kontrolle von Membranprozessen, Hamburg

258 Indikatoren und Risikomodelle für Entstehung und Verlauf psychischer Störungen, Heidelberg

302 Kontrollfaktoren der Tumorentstehung, Mainz

307 Neurobiologische Aspekte des Verhaltens und seiner pathologischen Abweichungen, Tübingen

311 Immunpathogenese, Mainz

320 Herzfunktion und ihre Regulation, Heidelberg

322 Lympho-Hämopoese, Ulm

324 Die maligne transformierte Zelle: Eigenschaften und Möglichkeiten der Manipulation, München

325 Modulation und Lernvorgänge in Neuronensystemen, Freiburg

330 Organprotektion, Göttingen

Biologie

4 Sinnesleistungen: Anpassung von Strukturen und Mechanismen, Regensburg

9 Struktur, Funktion und Biosynthese von Peptiden und Proteinen, Berlin

43 Biochemie von Zelloberflächen- und Membrankomponenten, Regensburg

45 Vergleichende Neurobiologie des Verhaltens, Frankfurt/Darmstadt

74 Molekularbiologie der Zelle, Köln

103 Zellenergetik und Zelldifferenzierung, Marburg

137 Gesetzmäßigkeiten und Steuerungsmechanismen des Stoffumsatzes in ökologischen Systemen, Bayreuth

145 Biologische, chemische und technische Grundlagen der Biokonversion, München

156 Mechanismen zellulärer Kommunikation, Konstanz

169 Struktur und Funktion membranständiger Proteine, Frankfurt/Darmstadt/ Mainz

171 Membrangebundene Transportprozesse in Zellen, Osnabrück

176 Molekulare Grundlagen der Signalübertragung und des Stofftransports in Membranen, Würzburg/Freibug

184 Molekulare Grundlagen der Biogenese von Zellorganellen, München/ Martinsried

189 Energiewandelnde biologische Systeme, Düsseldorf

204 Nachrichtenaufnahme und -verarbeitung im Hörsystem von Vertebraten (Gehör), München

206 Biologische Signalreaktionsketten, Freiburg

223 Pathomechanismen zellulärer Wechselwirkungen, Bielefeld

229 Molekulare Mechanismen der Genexpression und Differenzierung, Heidelberg

236 Grundlagen zellulärer Wechselwirkung und Signalvermittlung, Göttingen

243 Molekulare Analyse der Entwicklung zellulärer Systeme, Köln

251 Ökologie, Physiologie und Biochemie pflanzlicher Leistung unter Streß, Würzburg

266 Regulation der Organisation und Funktion synthetischer und biologischer Phasengrenzschichten durch Makromoleküle und Molekülaggregate, München/Martinsried/Jülich

272 Molekulare Grundlagen zellbiologischer Schaltvorgänge, Gießen

274 Der modulare Aufbau des genetischen Materials, Köln

304 Organisation des Eukaryontengenoms, München

305 Ökophysiologie: Verarbeitung von Umweltsignalen, Marburg

310 Intra- und interzelluläre Erkennungssysteme, Münster

312 Gerichtete Membranprozesse, Berlin

317 Molekularbiologie neuraler Mechanismen und Interaktionen, Heidelberg

323 Mikrobielle Grundlagen der Biotechnologie, insbesondere prokaryontischer Stoffe mit Wirkung auf Eukaryonten, Tübingen

249 Pharmakologie biologischer Makromoleküle, Gießen

190 Mechanismen und Faktoren der Genaktivierung, München

344 Regulationsstrukturen von Nukleinsäuren und Proteinen, Berlin

Landwirtschaft und Gartenbau, Forst- und Holzwissenschaften

110 Bioökonomische Modelle gartenbaulicher Produktion, Hannover

183 Umweltgerechte Nutzung von Agrarlandschaften, Hohenheim

308 Standortgemäße Formen kleinbäuerlicher Landwirtschaft in den Tropen mit Forschungsschwerpunkt Westafrika, Hohenheim

1.1.4 Senatskommissionen

Senatskommission für Sicherheitsfragen bei der Neukombination von Genen

Senatskommission für Krebsforschung

Senatskommission für Klinische Forschung

Senatskommission für Klinisch-toxikologische Analytik

Senatskommission für Versuchstierforschung

Senatskommission für Pflanzenschutz-, Pflanzenbehandlungs- und Vorratsschutzmittel

Senatskommission zur Prüfung von Rückständen in Lebensmitteln

Senatskommission zur Prüfung von Lebensmittelzusatz- und -inhaltsstoffen

Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher ArbeitsstoffeSenatskommission für Wasserforschung

Senatskommission zur Beurteilung von Stoffen in der Landwirtschaft

Senatskommission zur Beurteilung der gesundheitlichen Unbedenklichkeit von Lebensmitteln

1.2 Volkswagenstiftung

Schwerpunkt Neuroimmunologie, Verhalten und Befinden

2. Forschungseinrichtungen

2.1 Hochschulen

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Bayerische Julius-Maximilians-Universität zu Würzburg

Bergische Universität Gesamthochschule Wuppertal

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Eberhard-Karls-Universität Tübingen

Freie Universität Berlin

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Georg-August-Universität Göttingen

Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Johann Wolfgang Goethe Universität Franfurt/Main

Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Justus-Liebig-Universität Giessen

Ludwig-Maximilians-Universität München

Philipps-Universität Marburg

Rheinisch-Westfälisch-Technische Hochschule Aachen

Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

Ruhr-Universität Bochum

Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg

Technische Universität Berlin

Technische Universität Braunschweig

Technische Universität Clausthal

Technische Universität Hamburg-Harburg

Technische Universität München

Universität Hamburg

Universität Bayreuth

Universität Bielefeld

Universität Gesamthochschule Duisburg

Universität Gesamthochschule Essen

Universität Hannover

Universität Hohenheim

Universität Kaiserslautern

Universität Karlsruhe

Universität Konstanz

Universität Oldenburg

Universität Regensburg

Universität Stuttgart

Universität zu Köln

Westfälische Wilhelms-Universität Münster

Fachhochschule Rheinland-Pfalz

Fachhochschule Jülich

Fachhochschule Emden

Fachhochschule Mannheim

Fachhochschule Reutlingen

Medizinische Hochschule Hannover

Technische Fachhochschule Berlin

Technische Hochschule Darmstadt

2.2 Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e. V. (MPG), Residenzstraße 1 a, 8000 München 1

Die Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e. V.

- ist eine Trägerorganisation für zur Zeit rund 60 hochschulfreie Institute, Forschungsstellen und befristete Klinische Forschungs- und Arbeitsgruppen unterschiedlicher Größe, Struktur und Aufgabenstellung

- betreibt Grundlagenforschung in ausgewählten Bereichen der Natur-, Geistes- und Sozialwissenschaften

- fördert neue Forschungsgebiete und ergänzt damit die Forschung an den Hochschulen

- kooperiert mit den Hochschulen und stellt ihre Großgeräte auch der Hochschulforschung zur Verfügung.

Als Selbstverwaltungsorganisation der Wissenschaft gewährt die Max-Planck-Gesellschaft ihren leitenden Wissenschaftlern freie Hand bei der Wahl der Forschungsthemen und der Durchführung der Forschungsarbeiten.

Zur Finanzierung ihrer Forschungseinrichtungen stehen der Max-Planck-Gesellschaft neben den Mitteln der institutionellen Förderung auch Mittel aus der Projektförderung sowie private Mittel zur Verfügung.

Max-Planck-Institut für Biologie, Spemannstraße 32, 7400 Tübingen 1

Max-Planck-Institut für Entwicklungsbiologie, Spemannstraße 35, Postfach 21 09, 7400 Tübingen 1

Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik, Spemannstraße 38, 7400 Tübingen

Max-Planck-Institut für medinische Forschung, Jahnstraße 29, Postfach 10 38 20, 6900 Heidelberg

Friedrich-Miescher-Laboratorium in der Max-Planck-Gesellschaft, Spemannstraße 37-39, Postfach 21 09, 7400 Tübingen.

Max-Planck-Institut für Immunbiologie, Stübeweg 51, Postfach 11 69, 7800 Freiburg

Max-Planck-Institut für Zellbiologie, Rosenhof, 6802 Ladenburg bei Heidelberg

Max-Planck-Institut für Biochemie, Am Klopferspitz 18 a, 8033 Martinsried bei München

Max-Planck-Gesellschaft, Klinische Forschungsgruppe für Multiple Sklerose an der Neurologischen Klinik der Universität Würzburg, (Hermann und Lilly Schilling-Forschungsgruppe), Josef-Schneider-Straße 11, Postfach 61 20, 8700 Würzburg

Max-Planck-Institut für Verhaltensphysiologie, 8131 Seewiesen über Starnberg/Obb.

Max-Planck-Gesellschaft, Arbeitsgruppen für strukturelle Molekularbiologie, Ohnhorststraße 18, 2000 Hamburg 52

Max-Planck-Institut für molekulare Genetik, Ihnestraße 73, 1000 Berlin 33

Max-Planck-Institut für Biophysik, Kennedyallee 70, 6000 Frankfurt/Main 70

Max-Planck-Institut für Hirnforschung, Deutschordenstraße 46, Postfach 71 06 62, 6000 Frankfurt/Main 71

Max-Planck-Gesellschaft, Klinische Forschungsgruppe für Blutgerinnung und Thrombose am Klinikum der Universität Gießen, Gaffkystraße 11, 6300 Gießen

Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie (Karl-Friedrich-Bonhoeffer-Institut), Am Faßberg, Postfach 28 41, 3400 Göttingen-Nikolausberg

Max-Planck-Institut für experimentelle Endokrinologie, Konstanty-Gutschow-Straße 8, Postfach 61 03 09, 3000 Hannover 61

Max-Planck-Gesellschaft, Klinische Arbeitsgruppen an der Medizinischen Klinik der Universität Göttingen, Goßlerstraße 10 d, 3400 Göttingen

Max-Planck-Institut für experimentelle Medizin, Hermann-Rein-Straße 3, 3400 Göttingen

Max-Planck-Institut für Ernährungsphysiologie, Rheinlanddamm 201, 4600 Dortmund

Max-Planck-Institut für neurologische Forschung, Ostmerheimer Straße 200, 5000 Köln 91

Max-Planck-Institut für Systemphysiologie, Rheinlanddamm 201, 4600 Dortmund 1

Max-Planck-Institut für Züchtungsforschung, (Erwin-Baur-Institut), Egelspfad, 5000 Köln 30

Max-Planck-Gesellschaft, Klinische Forschungsgruppe für Reproduktionsmedizin an der Frauenklinik der Universität Münster, Steinfurter Straße 107, 4400 Münster

Max-Planck-Institut für Polymerforschung, Jakob-Welder-Weg 11, Postfach 31 48, c/o Institut für Physikalische Chemie der Universität Mainz, 6500 Mainz

Max-Planck-Institut für Limnologie, August-Thienemann-Straße 2, Postfach 1 65, 2320 Plön/Holstein

2.3 Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V. (FhG), Leonrodstraße 54, 8000 München 19

– *Vertragsforschung*

Auftragsforschung für Wirtschaft und öffentliche Hand;
Für FuE-Vorhaben für mittelständische Unternehmen hat die FhG besondere Fördermöglichkeiten;

Projektforschung im Rahmen staatlicher Förderprogramme,
insb. Verbundforschung gemeinsam mit Wirtschaftsunternehmen und anderen Forschungseinrichtungen

Eigenforschungsvorhaben aus Mitteln der institutionellen Förderung dienen der Erhaltung der wissenschaftlichen Qualität und der Erschließung neuer Forschungsbereiche im Vorfeld von Auftrags- und Projektforschung

– *Verteidigungsforschung*
Ressortforschung für den Bundesminister der Verteidigung

– *Dienstleistungen*
Patentstelle für die Deutsche Forschung als Dienstleistungseinrichtung für öffentliche Forschungseinrichtungen und freie Erfinder
Informationszentrum RAUM und BAU als Datenbankanbieter für die Bereiche Raumordnung, Städtebau, Wohnungswesen und Bauwesen.

Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik (IGB), Nobelstraße 12, 7000 Stuttgart 80 (Vaihingen)

Das Institut befaßt sich überwiegend mit Problemstellungen der Verfahrenstechnik, besonders der Bioverfahrenstechnik mit den Schwerpunkten Reaktorentwicklung, Produktaufarbeitung (besonders mit Membrantechniken und chromatographischen Verfahren), Steuer- und Regeltechnik, Biosensoren. Dies geschieht stets unter Verwendung spezieller Bioprozesse, die ebenfalls, seien sie enzymatisch oder mikrobiell, am Institut entwickelt und bearbeitet werden. Eng verbunden mit der Bioverfahrenstechnik ist der andere Arbeitsbereich des Instituts: die Grenzflächenverfahrenstechnik, bei der Grenzflächeneigenschaften im Hinblick auf verfahrenstechnische Anwendungen untersucht werden.

Fraunhofer-Institut für Lebensmitteltechnologie und Verpackung (ILV), Schragenhofstraße 35, 8000 München 50

Die Aufgabenstellung für das Institut definiert sich aus der Begleitung des Lebensmittels vom Rohstoff bis zum verpackten Produkt mit allen damit verbundenen Fragestellungen bezüglich Rohstoffnutzung, Prozeßentwicklung, Lebensmittelqualität und Haltbarkeit, letzteres unter besonderer Berücksichtigung der Schutzwirkung der Verpackung.

Veränderungen in den gesamtwirtschaftlichen Rahmenbedingungen für die Lebensmittelindustrie erfordern darüber hinaus die Bearbeitung von Forschungsschwerpunkten aus folgenden Themenbereichen:

– Umweltverträglichkeit der industriellen Lebensmittelproduktion

- Rationalisierung herkömmlicher Verfahren und Prozeßautomatisierung

- Erhaltung nativer Lebensmitteleigenschaften, Minimierung des Einsatzes lebensmittelfremder Stoffe etc., im Sinne der zunehmend kritischen Verbrauchereinstellung

- ökologische Bewertung von Packstoffen

- Entwicklung umweltverträglicher Packstoffsysteme

- Eigenschaften von Packstoffen und zugehörige Prüfverfahren

Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI), Breslauer Straße 48, 7500 Karlsruhe 1

Fraunhofer-Institut für Holzforschung "Wilhelm-Klauditz-Institut" (WKI), Bienroder Weg 54 E, 3300 Braunschweig

Fraunhofer-Institut für Umweltchemie und Ökotoxikologie (IUCT), 5948 Schmallenberg/Grafschaft

Fraunhofer-Institut für Toxikologie und Aerosolforschung (ITA), Nikolai-Fuchs-Straße 1, 3000 Hannover 61

2.4 Großforschungseinrichtungen

Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung (GSF)

Die Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung untersucht mit einem Personalaufwand von 163,5 Mannjahren die biologische Wirkung und die Wirkungsmechanismen von Umweltnoxen auf Pflanze, Tier und Mensch. Damit wird die Verbindung hergestellt zwischen dem im Schwerpunkt "Schadstoffe in terrestrischen Ökosystemen" behandelten Verhalten von Umweltnoxen in terrestrischen Ökosystemen einerseits und dem im Schwerpunkt "Umwelt und Gesundheit" untersuchten manifesten Endpunkten der gesundheitlichen Schädigung des Menschen andererseits. Ein wichtiges Arbeitsgebiet ist die biochemische und molekularbiologische Untersuchung über die primären Wechselwirkungen von Strahlen und Chemikalien mit Biomolekülen und Zellen und über die daraus ableitbaren biologischen Schäden. Dabei spielt, neben Studien über Aufnahme und Metabolismus von Substanzen und den resultierenden toxischen Wirkungen, die Untersuchung von Schädigungen subzellulärer Strukturen eine wichtige Rolle.

Die Forschungsschwerpunkte der GSF sind

1. Schadstoffe in terrestrischen Ökosystemen

2. Wirkung von Umweltnoxen auf Organismen

3. Umwelt und Gesundheit.

Forschungszentrum Jülich (KFA)

Im Forschungszentrum Jülich werden neben den Aktivitäten in den Instituten für Biotechnologie I und II im Rahmen der Umwelt- und Gesundheitsforschung folgende Vorhaben durchgeführt:

– biotechnologische Grundlagen der aeroben Abwasserbehandlung

– biologische Eliminierung von Nitrat sowie von Schwefelverbindungen

– biologische Informationsverarbeitung.

Kernforschungszentrum Karlsruhe (KFK)

Im Kernforschungszentrum Karlsruhe werden am Institut für Genetik und Toxikologie von Spaltstoffen (IGT) u. a. folgende Vorhaben durchgeführt:

a) Identifizierung von Genprodukten bei der Zellreaktion auf Bestrahlung oder Einwirkung chemischer Karzinogene

b) Studium hormoneller Einwirkungen auf die Genregulation

c) Genamplifikation nach intrazellulärer Radionuklidablagerung, Mechanismen der Genamplifikation

d) Untersuchung des Entstehungsmechanismus parasiten-induzierter Lymphome

e) Studien auf zell- und molekularbiologischer Ebene der Wirkungen von Radionukliden, Schwermetallen und umweltrelevanten Stäuben auf Membranen, Lysosomen und Zellkernen von Lungenzellen und anderen Zellarten

f) Untersuchungen zu den Entstehungsmechanismen Alphateilchen-induzierter Knochentumore. Pathophysiologische Studien und Vergleich der Mikroverteilung der Strahlendosis von inkorporiertem Plutonium-239, Americium-241, Neptunium-237 und Radium-226. Studien zur Herabsetzung der Toxizität von inkorporierten Actiniden.

g) Untersuchung, durch theoretische und experimentelle Studien, der chemisch-biochemischen Mechanismen des Transports von Actiniden und Schwermetallen aus Wasser, Boden und Nahrungsmitteln bis zur menschlichen Zelle

h) Beeinflussung sekundärer Botenstoffe durch Inhibitoren der Zell-Kommunikation ("Entkoppler")

i) Interzelluläre Kommunikation, Proliferation und Enzym-Aktivitäten von Zellen in Sphäroiden.

2.5 Andere selbständige Forschungseinrichtungen mit gemeinsamer Förderung durch Bund und Länder (Institute der Blauen Liste)

– Deutsches Primaten Zentrum (DPZ)

2.6 Bundesanstalten

2.6.1 Bundesforschungsanstalten im Geschäftsbereich des Bundesministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten

– Bundesforschungsanstalt für Ernährung;

– Bundesanstalt für Milchforschung;

– Bundesforschungsanstalt für Fleischforschung;

– Bundesanstalt für Getreide- und Kartoffelverarbeitung;

– Bundesanstalt für Fettforschung,

– Bundesanstalt für Fischerei,

– Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft,

– Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft,

– Bundesforschungsanstalt für Viruserkrankungen der Tiere;

– Bundesforschungsanstalt für Rebenzüchtung Geilweilerhof,

– Bundesforschungsanstalt für gartenbauliche Pflanzenzüchtung;

– Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft;

2.6.2 Bundesgesundheitsamt

– Zentrale Kommission für Biologische Sicherheit

– Max-von-Pettenkofer-Institut;

– Robert-Koch-Institut;

– Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene;

2.6.3 Paul-Ehrlich-Institut

2.6.4 Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)

In der Fachgruppe "Biologische Materialprüfung" der BAM werden Arbeiten zu folgenden Programmschwerpunkten durchgeführt:

– Neurobiologische Forschung und

– Nachwachsende Rohstoffe.

Auf dem Gebiet des Schwerpunktes zur Neurologie wird mit aktuellen sinnesphysiologischen und neurobiologischen Methoden die Wirkungsweise natürlicher und naturidentischer Substanzen hinsichtlich ihrer insektenabwehrenden Eigenschaften untersucht. Der Einsatzbereich liegt dabei auf dem Gebiet des biotechnischen/biologischen Material- und Pflanzenschutzes. Zum Schwerpunkt "Nachwachsende Rohstoffe" in der BAM zählt die Entwicklung von Methoden zur Verbesserung des Schutzes von anfälligen Hölzern vor biologischem Abbau.

2.6.5 Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)

In der BGR werden im Bereich Biogeochemie seit einigen Jahren vom BMFT geförderte Forschungsvorhaben zur Themengruppe "Biologie von Entsorgungsverfahren

(Mikrobiologie der Abwasserreinigung, Mikrobieller Abbau von Problemstoffen)" durchgeführt. Zur Zeit wickelt die BGR gemeinsam mit einem Industrieunternehmen das Projekt "Mikrobiologische Extraktion von Schwermetallen aus Industrieabwässern" ab.

3. Programme und Förderschwerpunkte des Bundes

3.1 Forschung und Entwicklung im Dienste der Gesundheit

3.2 Umweltforschung und Umwelttechnologie

3.3 Energieforschung

3.4 Technologiefolgenabschätzung

3.5 Weltraumforschung

3.6 Fachinformation

3.7 Informationsverarbeitung

3.8 Beteiligungskapital für junge Technologieunternehmen (BJTU)

Der BMFT wird aufbauend auf den bisherigen Erfahrungen und dem entstandenen Netzwerk von Institutionen und Dienstleistungen in einem bundesweiten Modellversuch in den Jahren 1989 bis 1994 Kapitalbeteiligungsgesellschaften, Venture-Capital-Gesellschaften und sonstigen Beteiligungsgebern Anreize bieten, sich in jungen Technologieunternehmen bereits zu einem Zeitpunkt zu engagieren, bevor die Entwicklungsarbeiten mit einem vorzeigbaren Prototyp erfolgreich abgeschlossen und die Marktaussichten einfacher abzuschätzen sind.

Durch das frühzeitige Engagement des BMFT sollen die Risiken für die Beteiligungsgeber tragbar werden. Ziel ist die Entwicklung eines Risikokapitalmarktes anzuregen, der sich auch bei der Finanzierung junger Technologieunternehmen weitgehend ohne staatliche Hilfen trägt.

Im Unterschied zum bisherigen Modellversuch gewährt der BMFT in diesem Modellversuch von vorne herein keine Zuschüsse mehr an die Gründer, sondern gibt Anreize zur Bereitstellung von Eigenkapital (Beteiligungsfinanzierung) für die Entwicklungs- und Aufbauphase junger Technologieunternehmen. Dies soll die Marktkräfte bei der Risikofinanzierung stärken.

Insgesamt sollen in den Jahren 1989 bis 1994 300 Mio. DM Beteiligungskapital zur Verfügung gestellt werden. Diese befristete Fördermaßnahme richtet sich direkt an alle Institutionen, Unternehmen und Personen, die Beteiligungskapital zur Verfügung stellen, insbesondere an die Venture-Capital-Gesellschaften, die Beteiligungsgesellschaften der Banken und Sparkassen und die mittelständischen Beteiligungsgesellschaften der Länder (MBG).

3.9 Fördermaßnahme Forschungskooperation zwischen Wirtschaft und Wissenschaft

Die Fördermaßnahme des BMFT wurde 1984 eingeführt und hat eine Laufzeit bis 31.12.1991 (letzter Tag der Antragstellung). Das Ziel der Förderung besteht darin, Forschungspersonal aus Unternehmen für eine begrenzte Zeit (max. 3 Jahre) eine Tätigkeit bei Forschungseinrichtungen im Bereich der Schlüsseltechnologien zu ermöglichen, damit neue wissenschaftliche Erkenntnisse schneller in industrielle Innovationen umgesetzt werden können.

Antragsberechtigt sind rechtlich selbständige Unternehmen mit Sitz und Geschäftsbetrieb in der Bundesrepublik Deutschland. Die Förderung erfolgt durch Zuschüsse in Form von Pauschalbeträgen. Diese betragen zur Zeit 33.750 DM für das erste, 30.000 DM für das zweite und 26.250 DM für das dritte Jahr einer vollarbeitszeitlichen Forschungskooperation. Auch zeitanteilige Forschungskooperationen ab mindestens 50 % der regelmäßigen Arbeitszeit sind möglich; der Zuschuß ist in diesem Fall entsprechend verringert.

Bis Ende August 1989 wurden fast 1.100 Forschungskooperationen mit einer Bewilligungssumme von rd. 100 Mio. DM gefördert. Davon entfallen 15 % auf den Bereich der Biotechnologie.

Die Fördermaßnahme wird abgewickelt von der Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen e.V. (AIF), Bayenthalgürtel 23, 5000 Köln 51, Tel.: (0221) 376800.

3.10 Gesamtkonzept für kleine und mittlere Unternehmen (KMU), Bundesminister für Wirtschaft (BMWi)

A.5 Biowissenschaftliche Forschungseinrichtungen in der DDR

Rostock	– Universität Rostock
	– Forschungsinstitut für Tierproduktion Rostock-Dummerstorf der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR
Insel Riems	– Friedrich-Löffler-Institut
Greifswald	– Ernst-Moritz-Arndt-Universität
Berlin	– Humboldt-Universität zu Berlin (Sektion Biologie, Charité, Sektion Nahrungsgüterwirtschaft)
	– Zentralinstitut für Molekularbiologie der Akademie der Wissenschaften der DDR
	– Zentralinstitut für Krebsforschung der Akademie der Wissenschaften der DDR
	– Zentralinstitut für Herz-Kreislaufforschung der Akademie der Wissenschaften der DDR
	– Forschungszentrum Biotechnologie
	– Industrieforschungszentrum Biotechnologie GmbH
	– Staatliches Institut für Immunpräparate und Nährmedien
	– Institut für Wirkstofforschung der Akademie der Wissenschaften der DDR
	– Institut für Pflanzenschutzforschung
	– Arbeitsstelle für Technische Mikrobiologie
	– Forschungsstelle für Wirbeltierforschung
	– Institut für Ökosystemforschung (im Aufbau)
Potsdam	– Zentralinstitut für Ernährung der Akademie der Wissenschaften der DDR

	– Institut für Biotechnologie der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR
Magdeburg	– Medizinische Akademie Magdeburg
	– Institut für Neurologie und Hirnforschung der Akademie der Wissenschaften der DDR
Gatersleben	– Zentralinstitut für Genetik und Kulturpflanzenforschung der Akademie der Wissenschaften der DDR
Quedlinburg	– Institut für Züchtungsforschung (Pflanzen) der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR
Aschersleben	– Institut für Phytopathologie der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR
Halle	– Institut für Biochemie der Pflanzen der Akademie der Wissenschaften der DDR
	– Martin-Luther-Universität Halle / Biotechnikum
Dresden	– Medizinische Akademie Dresden
	– Arzneimittelwerk Dresden
Leipzig	– Karl-Marx-Universität Leipzig
	– Institut für Biotechnologie der Akademie der Wissenschaften der DDR
Erfurt	– Medizinische Akademie Erfurt
Jena	– Zentralinstitut für Mikrobiologie und experimentelle Therapie der Akademie der Wissenschaften der DDR – Friedrich-Schiller-Universität Jena

A.6 Anschriften

Gesellschaft für Biotechnologische Forschung
Mascheroder Weg 1
3300 Braunschweig-Stöckheim
(Tel. 0531/6181(0))

DSM – Deutsche Sammlung von
Mikroorganismen und Zellkulturen GmbH
Mascheroder Weg 1 b
3300 Braunschweig
(Tel. 0531/618752)

Projektträger Biologie, Energie,
Ökologie (PT BEO)
Postfach 1913
5170 Jülich 1
(Tel. 02461/615543)

DAAD-Deutscher Akademischer Austauschdienst
Kennedyallee 50
5300 Bonn 2
(Tel. 0228/882-0)

Deutsche Forschungsgemeinschaft
Kennedyallee 40
5300 Bonn 2
(Tel. 0228/885-1)

Fonds der Chemischen Industrie
Verband der Chemischen Industrie
(VCI)
Karlstr. 21
6000 Frankfurt/M. 1
(Tel. 069/2556-1)

DECHEMA
Deutsche Gesellschaft für Chemisches Apparatewesen,
Chemische Technik und Biotechnologie e. V.
Postfach 97 01 46
6000 Frankfurt/M. 97
(Tel. 069/7564251/2)

NMI
Naturwissenschaftliches und Medizinisches Institut
an der Universität Tübingen in Reutlingen
Gustav-Werner-Str. 3
7410 Reutlingen 1
(Tel. 07121/319810)

Institut für Gesellschaft und
Wissenschaft an der Universität
Erlangen-Nürnberg (IGW)
Büro für zwischenstaatliche
Beziehungen (BzB)
Postfach 14 09
8520 Erlangen
(Tel. 09131/8267-0)

Schwerpunktprojekte:

Genzentrum München
MPI für Biochemie
Am Klopferspitz
8033 Martinsried/b. München

Genzentrum Heidelberg
Im Neuenheimer Feld 282
6900 Heidelberg
Genzentrum Köln
MPI für Züchtungsforschung
Egelspfad
5000 Köln 30

Genzentrum Berlin
Institut für Genbiologische Forschung GmbH
Ihnestr. 63
1000 Berlin 33

Schwerpunkt
Bioprozeßtechnik
Koordinationsstelle
Institut für Mikrobiologie
Grisebachstr. 8
3400 Göttingen

Schwerpunkt
Bioverfahrenstechnik
Koordinationsstelle I
Institut für Systemdynamik und Regelungstechnik
Pfaffenwaldring 9
7000 Stuttgart 80

Schwerpunkt
Bioverfahrenstechnik
Koordinationsstelle II
FHI für Grenzflächen-und Bioverfahrenstechnik
Nobelstr. 12
7000 Stuttgart 80

Zentrum für Angewandte Molekularbiologie
der Pflanzen
Institut für Botanik und Botanischer Garten
Ohnhorststr. 18
2000 Hamburg 52

Zentrum für Molekulare Neurobiologie
Institut für Zellbiochemie und
klinische Neurobiologie, UKE
Martinistr. 52
2000 Hamburg 20

Schwerpunkt Biokatalyse
Institut für Mikrobiologie
Universität Düsseldorf
Universitätsstraße 1
4000 Düsseldorf 1

A.7 Abkürzungsverzeichnis

BBA	Biologische Bundesanstalt für Land– und Forstwirtschaft
BMFT	Bundesminister für Forschung und Technologie
BMJ	Bundesminister der Justiz
BMJFFG	Bundesminister für Jugend, Familie, Frauen undGesundheit
BML	Bundesminister für Ernährung, Landwirtschaft undForsten
BMWi	Bundesminister für Wirtschaft
BMVg	Bundesminister für Verteidigung
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DKFZ	Deutsches Krebsforschungszentrum, Heidelberg
DLG	Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft
DNA	Desoxyribonukleinsäure (engl. deoxyribonucleicacid)
DSM	Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zell-kulturen GmbH
EG	Europäische Gemeinschaft
EMBL	Europäisches Laboratorium für Molekularbiologie,Heidelberg
EUREKA	Initiative für verstärkte technologische Zusammenarbeit in Europa
FAL	Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft
FHG	Fraunhofer-Gesellschaft
GBF	Gesellschaft für Biotechnologische Forschung mbH,Braunschweig-Stöckheim
GFE	Großforschungseinrichtung
GILSP	Good Industrial Large Scale Practice

GSF	Gesellschaft für Strahlen– und Umweltforschung
GVO	genetisch veränderter Organismus
HFSP	Human Frontier Science Programme
HUGO	Human Genome Organisation
KFA	Forschungszentrum Jülich GmbH
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
KfK	Kernforschungszentrum Karlsruhe
MPG	Max-Planck-Gesellschaft
OTA	Office for Technological Assessment
PT BEO	Projektträger Biologie, Energie, Ökologie, KFA Jülich
RFLP	Restriktions-Fragment-Längen-Polymorphismus
SFB	Sonderforschungsbereich der DFG
ZEBET	Zentralstelle zur Erfassung und Bewertung von Ersatz– und Ergänzungsmethoden für Tierversuche

Wellcome Library

Diese Druckschrift wird unentgeltlich abgegeben. Sie ist nicht zum gewerblichen Vertrieb bestimmt. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landes-, Bundestags- und Kommunalwahlen sowie auch für die Wahl der Mitglieder des Europäischen Parlaments. Mißbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung.

Unabhängig davon, wann, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Schrift dem Empfänger zugegangen ist, darf sie auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Bundesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Der Bundesminister für Forschung und Technologie